



TUGAS AKHIR - TM 141585

**Analisis Keandalan pada 542 FN7 *Finish Mill*
2 Pabrik Tuban 1 PT. Semen Indonesia
(Persero) Tbk. dengan Pendekatan Metode
*Reliability Centered Maintenance***

MUHAMMAD RIZKY EKA PERMATA CHANDRA
NRP 2111 100 138

Dosen Pembimbing
Ir. Sudijono Kromodihardjo, MSc. PhD
NIP. 195208011978031005

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT - TM 141585

Reliability Analysis of 542 FN7 Finish Mill 2 Pabrik Tuban 1 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. with Reliability Centered Maintenance Method

MUHAMMAD RIZKY EKA PERMATA CHANDRA
NRP 2111 100 138

Supervisor:
Ir. Sudijono Kromodihardjo, MSc. PhD
NIP. 195208011978031005

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

**ANALISIS KEANDALAN PADA FAN 542 FN7 FINISH
MILL 2 PABRIK TUBAN 1 PT. SEMEN INDONESIA
(PERSERO) TBK. DENGAN PENDEKATAN METODE
RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD RIZKY EKA PERMATA CHANDRA
NRP. 2111 100 138

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Sudijono Kromodihardjo, MSc.PhD.....(Pembimbing)
(NIP. 195208011918031005)
2. Dinny Harnany, ST, MSc.....(Penguji I)
(NIP. 2100201405001)
3. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.....(Penguji II)
(NIP. 196303141988031002)
4. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT.....(Penguji III)
(NIP. 198604012015041001)

SURABAYA

Juli, 2016

**ANALISIS KEANDALAN 542 FN7 FINISH MILL 2
PABRIK TUBAN 1 PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO)
TBK. DENGAN PENDEKATAN METODE RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE**

Nama Mahasiswa : Muhammad Rizky Eka Permata C.
NRP : 2111 100 138
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Sudijono K., MSc.PhD.

Abstrak

Fan 542 FN7 merupakan salah satu komponen utama dalam pembentukan semen akhir di divisi *Finish Mill 2* Pabrik Tuban 1 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang digunakan untuk menghisap udara dari separator dan *cyclone* menuju *bag filter*. Dari data *downtime* pada tahun 2011-2015 tercatat mesin ini total mengalami 52 kali kegagalan atau menyumbang total 9% dari total kegagalan yang ada pada divisi *Finish Mill 2* dan berada pada posisi ketiga mesin yang sering mengalami kegagalan. Oleh karena itu, perlu adanya pemeliharaan mesin yang baik dan terintegrasi.

Kemudian dipilihlah metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dimana merupakan proses sistematis yang digunakan untuk menentukan hal yang harus dilakukan untuk meyakinkan bahwa setiap fasilitas fisik dari perusahaan dapat sesuai dengan fungsi desain secara terus menerus dalam kurun operasi waktu tertentu. Komponen yang dianalisis dalam RCM adalah komponen kritis yang sebelumnya dianalisis terlebih dahulu menggunakan metode *Failure Mode, Effect and Critically Analysis* (FMECA). Komponen yang dianalisis adalah komponen dengan nilai *Risk Priority Number* >60 (diatas status *critically high*).

Analisis pada mesin fan 542 FN7 didapatkan bahwa terdapat 7 komponen kritis yaitu *blade impeller, diffuser, kopling, journal bearing, roller bearing, casing and inlet box* dan

vibrationdetector dimana meliputi 11 mode kegagalan yang kemudian dianalisis menggunakan metode RCM. Adapun hasil dari metode RCM pada komponen tersebut adalah terdapat 8 mode kegagalan yang merupakan *hidden failure consequence* dan menggunakan strategi *on condition task (predictive maintenance)*. Kemudian terdapat 1 mode kegagalan merupakan *hidden failure consequence* dan menggunakan strategi *scheduled restoration task (preventive maintenance)*, serta 2 mode kegagalan merupakan *operational consequence* dan menggunakan strategi *scheduled restoration task (preventive maintenance)*.

Kata Kunci: *Finish Mill, Reliability Centered Maintenance, Risk Priority Number*

RELIABILITY ANALYSIS OF 542 FN7 FINISH MILL2 PABRIK TUBAN 1 PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) TBK. WITH RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE METHOD

Name : Muhammad Rizky Eka Permata C.
NRP : 2111 100 138
Major : Teknik Mesin FTI-ITS
Supervisor : Ir. Sudijono K., MSc.PhD.

Abstract

Fan 542 FN7 is one of the main components in the final cement process at Finish Mill division 2 Tuban 1 PT. Semen Indonesia (PERSERO) Tbk, which is used to blow air from cyclone, separator to bag filter. From the downtime data in 2011-2015, it was recorded that this machine have 52 times of failure or total accounted for 9% of the total failure of the existing division Mill Finish 2 and it is in third position with frequent engine failures. Therefore, there needs to be maintain the machine good and integrated.

Then Reliability Centered Maintenance (RCM) was choosen which is a systematic process that is used to determine what should be done to ensure that every physical facilities of the company can be in accordance with the design function continuously within a certain time operation. The components that analyzed by RCM is a critical component which previously analyzed using Failure Mode, Effects and Critically Analysis (FMECA). Components analyzed are components with Risk Priority Number value > 60 (above the status of critically high).

Analysis on fan 542 FN7 found that there are seven critical components, that are blade impeller, diffuser, clutch, journal bearings, roller bearing, casing and inlet box and vibration detector which covers 11 failure modes were then analyzed using RCM. The results of the RCM method on the component failure modes are there 8 component which is hidden consequence of

failure and use on condition task (predictive maintenance) strategies. Then, there is one mode of failure is a failure hidden consequence and use scheduled restoration task (preventive maintenance) strategies, as well as two modes of failure is a consequence operational and use scheduled restoration task (preventive maintenance) strategies.

Keywords: Finish Mill, Reliability Centered Maintenance, Risk Priority Number

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena atas karunia-Nya penulisan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS KEANDALAN FAN 542 FN7 PADA FINISH MILL 2 PABRIK TUBAN 1 PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) TBK. DENGAN PENDEKATAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*”** dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya sehingga dapat terselesaikan sesuai dengan waktu yang diharapkan. Oleh karena itu, izinkan penulis untuk mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut antara lain:

1. Allah SWT serta junjungan besar kami Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan petunjuk dan kekuatan dalam menghadapi segala cobaan dan rintangan.
2. Ayah serta mami tercinta, Bapak Thufi Dhirarto dan Ibu Kustien Waldiana beserta adik Cinta dan Affa, hingga keluarga besar yang selalu memberikan dukungan serta doa sehingga dimudahkanlah segala jenis urusan dan permasalahan.
3. Bapak Ir. Bambang Pramujati MSc. Eng., PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah memberikan sistem pendidikan terbaik agar mahasiswa dapat berkembang.
4. Bapak Ir. Sudijono Kromodihardjo, MSc. PhD selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah memberikan bimbingan, arahan, ilmu, serta masukan yang telah diberikan.
5. Bapak Ir. Witantyo, M.Eng.Sc, Ari Kurniawan Saputra ST., MT., serta ibu Dinny Harnany ST., MSc. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir penulis yang telah memberikan masukan
6. Bapak Indra Sidharta ST., MSc. selaku Dosen Wali yang telah memberikan bimbingan penulis selama menempuh studi.
7. Seluruh pihak PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk., bapak Dwi Agus Arfianto, bapak Yanuari, serta bapak Shondiq yang telah memberikan bantuan selama pengambilan data.

8. Risa Ayu Faizah sebagai orang yang akan menjadi pendamping hidup penulis yang selalu memberikan dukungan secara moral dan materil.
9. Teman seperjuangan selama mengerjakan Tugas Akhir, Chalid Maulidi, Adi Fauzy, Abyan Dzaki, Akbar Rifqi, Indah Rachmadita, Zieda Amalia, Raditya Ashdiwin, Vristanto Bimo, Miladia Malinda, Ksatria Mustari, dan Latif.
10. Seluruh keluarga besar Lab Rekayasa Sistem Industri, terutama mas Ruli, mas Kharas, mas Pandu, mas Antok, mas Fitroh, mas Danu, mas Bobo, mas Bontang, mas Wahyu, mas Acol, Gugun, Nabil, Rian, Eden, Moses, Laudy, Nagata, Ihsan, Azis, Mbak Rey, Mbak Nisa, dan seluruh anggota dan alumni dari lab, atas bimbingan, bantuan dan kenangannya.
11. Seluruh keluarga besar BEM FTI-ITS, terutama staff Dagri Silumans, staff Dare Dagri, Kabinet Bersatu Berdedikasi, dan Kabinet BMKarya yang telah memberikan pengalaman serta kenangan yang tidak akan terlupakan
12. Teman-teman Twister, T-Rex2, HiBulls, sobat SD, sahabat dari kecil, dan *best friend* Reza Frendy dan Halim Perdana yang senantiasa menjadi semangat.
13. SMRM terutama M54, dosen serta tenaga pendidik di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuan selama ini.

Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, mohon kritik dan saran dari pembaca untuk penyempurnaan penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 2 Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

Abstrak.....i

***Abstract*iii**

KATA PENGANTARv

DAFTAR ISI.....vii

DAFTAR TABEL.....ix

DAFTAR GAMBAR.....xi

BAB I PENDAHULUAN1

1.1 Latar Belakang1

1.2 Rumusan Permasalahan7

1.3 Tujuan Penelitian7

1.4 Batasan Masalah8

1.5 Manfaat Penelitian8

BAB II TINJAUAN PUSTAKA9

2.1 *Finish Mill*9

2.2 *Fan* (FN7)11

2.3 *Reliability Centered Maintenance*.....14

2.4 Penelitian Terdahulu33

BAB III METODOLOGI37

3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir37

3.2 Prosedur Pengerjaan Tugas Akhir.....38

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN41

4.1 Perawatan Yang Dilakukan Oleh PT. Semen Indonesia...41

4.2	Penjabaran Kegunaan Sistem <i>Finish Mill</i>	42
4.3	Ruang Lingkup Sub Sistem Fan 542 FN7.....	43
4.4	Spesifikasi Fan 542 FN7	51
4.5	Frekuensi Kegagalan Komponen	64
4.6	Ground Rules and Assumption	67
4.7	<i>Failure Mode Effect and Critically Analysis</i>	68
4.8	Penentuan <i>Purposed Maintenance Task</i>	75
4.9	Implementasi Teknis <i>Purposed Maintenance Task</i>	85
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		95
5.1	Kesimpulan	95
5.2	Saran.....	96
DAFTAR PUSTAKA		99
LAMPIRAN		103

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 2 Total Kerugian Perusahaan.....	4
Tabel 2. 2 Efisiensi Fan [5].....	14
Tabel 2. 3 <i>Saverity Rating Scale</i>	20
Tabel 2. 4 <i>Occurrence Rating Scale</i>	21
Tabel 2. 5 <i>Detection Rating Scale</i>	22
Tabel 2. 6 <i>Critically Scale</i>	23
Tabel 2. 7 Hasil Survey	34
Tabel 2. 8 Pengelompokan Hasil Survey	35
Tabel 4. 1 Sub-sub Komponen Fan 542 FN7	48
Tabel 4. 2 Kegagalan Komponen Fan 542 FN7	64
Tabel 4. 3 Contoh FMECA pada Fan 542 FN7	71
Tabel 4.4 Klasifikasi Model Kegagalan berdasarkan Nilai RPN73	
Tabel 4. 5 RCM <i>Decision Worksheet</i>	77
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Interval <i>Bearing</i>	86
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Interval Kopling	89
Tabel 4. 8 Keterangan untuk Logic Tree	93

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 2 Proses Pembuatan Semen [1]	1
Gambar 1. 3 Skema Proses Pembuatan Semen [2]	2
Gambar 1. 4 Diagram Proses Finish Mill 2 Pabrik Tuban 1	4
Gambar 1. 5 Diagram Pareto Frekuensi Kegagalan Komponen pada Finish Mill 2	6
Gambar 2. 2 Tube Ball Mill [3]	10
Gambar 2. 3 Vertical Roller Mill [4]	11
Gambar 2. 4 Fan [5]	12
Gambar 2. 5 Komponen Sistem <i>Fan</i> [5]	13
Gambar 2. 6 Perbandingan Efisiensi dengan Laju Aliran [5]	13
Gambar 2. 7 Model RCM [6]	16
Gambar 2. 8 <i>Logic Diagram</i> FMECA [6]	18
Gambar 2. 9 <i>Failure Mode, Effect and Critically Analysis</i> [8] ..	19
Gambar 2. 10 <i>Bathtub Curve</i> [10]	24
Gambar 2. 11 (a) Kurva Fungsi Distribusi Kegagalan; (b) Kurva <i>Maintainability</i> ; (c) Kurva Fungsi Keandalan; (d) Kurva Keandalan [14]	27
Gambar 2. 12 (a) Kurva Fungsi Distribusi Kegagalan; (b) Kurva <i>Maintainability</i> ; (c) Kurva Keandalan; (d) Kurva Laju Kegagalan [13]	29
Gambar 2. 13 Kurva Keandalan <i>Preventive Maintenance</i> untuk (a) <i>Increasing Failure Rate</i> ; (b) <i>Decreasing Failure Rate</i> [13] ..	31
Gambar 2. 14 <i>Logic Tree Analysis</i> [17]	33
Gambar 2. 15 Distribusi Hasil Survey untuk Empat Tema Besar dengan Besar Keandalan pada Komponen di Tempat Kerja	35
Gambar 4. 1 Posisi <i>Finish Mill</i> Pada Proses Pembuatan Semen	42
Gambar 4. 2 <i>System Breakdown</i> Fan 542 FN7 <i>Finish Mill 2</i> Pabrik Tuban 1 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.	45
Gambar 4. 3 Posisi Fan 542 FN7	46
Gambar 4. 4 Fungsi Utama Fan 542 FN7	47
Gambar 4. 5 <i>Boundary System</i> Fan 542 FN7	48

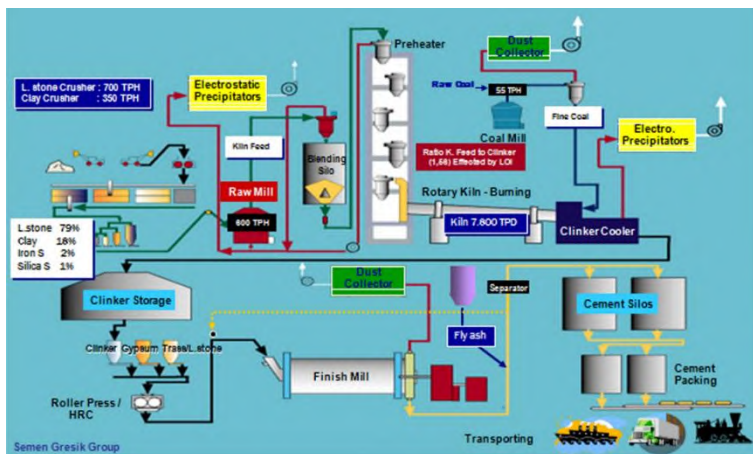
Gambar 4. 6 FBD: Sistem Fan 542 FN7.....	50
Gambar 4. 7 Gambar Impeller FX 225; (a) Tampak Atas; (b) Tampak Samping.....	52
Gambar 4. 8 Keausan yang terjadi pada <i>Blade Impeller</i> [19]....	53
Gambar 4. 9 Keausan yang terjadi pada <i>Diffuser</i> [19].....	53
Gambar 4. 10 Posisi <i>Cooling Impeller</i> [20]	54
Gambar 4. 11 Poros Fan 542 FN 7.....	55
Gambar 4. 12 Komponen Penyusun Kopling <i>Winflex</i> [20].....	55
Gambar 4. 13 Kopling <i>Winflex Sizes Y Through 95 (type 16 TL 2) [20]</i>	56
Gambar 4. 14 <i>Roller Bearing</i> [21]	57
Gambar 4. 15 <i>Louver Damper</i> [21].....	58
Gambar 4. 16 Motor ABB [20].....	59
Gambar 4. 17 Komponen <i>Cover</i> ; (A) <i>Set Casing and Actuator Sole Plate</i> ; (B) <i>Bearing Padestal</i> ; (C) <i>Casing & Inlet Box</i> ; (D) <i>Inlet Cone</i> ; (E) <i>Hub</i> ; (F) <i>Scroll Liner</i> [20]	60
Gambar 4. 18 Hub.....	61
Gambar 4. 19 <i>Vibration Detector “Vitec”</i> [22].....	62
Gambar 4. 20 <i>Actuator “Beck”</i> [23].....	63
Gambar 4. 21 <i>Pyrometric Probe</i> [22]	63
Gambar 4. 22 Rekapitan Frekuensi Kegagalan.....	67
Gambar 4. 23 Hasil Analisis Keandalan <i>Bearing</i> ; (a) Grafik Keandalan Tanpa Optimasi; (b) Grafik Keandalan Setelah Optimasi	88
Gambar 4. 24 Hasil Analisis Keandalan Kopling; (a) Grafik Keandalan Tanpa Optimasi; (b) Grafik Keandalan Setelah Optimasi	90
Gambar 4. 25 <i>Logic Tree</i> untuk Kegagalan Fungsi pada Fan 542 FN7.....	92

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

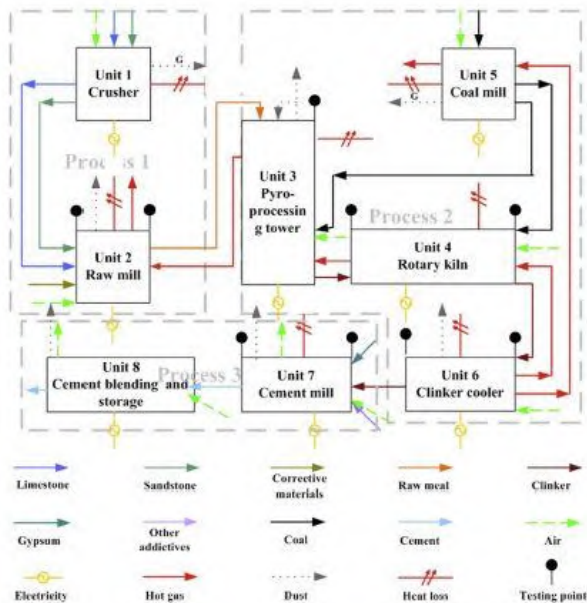
PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. merupakan perusahaan yang memproduksi semen terbesar di Indonesia dengan kapasitas mencapai 31,8 juta ton/tahun (2014). Perusahaan ini memiliki pabrik semen terbesar di kota Tuban, Jawa Timur, Indonesia. Di kota ini terdapat 4 unit pabrik semen, yakni pabrik Tuban 1, Tuban 2, Tuban 3 dan Tuban 4. Setiap pabrik semen tersebut pada umumnya terbagi menjadi 7 area, yaitu *crusher area*, *raw mill area*, *kiln area*, *coal mill area*, *finish mill area*, *packer area*, dan *electrical room area*.



Gambar 1. 1 Proses Pembuatan Semen [1]

Gambar 1.1 diatas memberikan ilustrasi dalam pembuatan semen pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Dimulai dari penambangan batu kapur, yang kemudian akan dihaluskan dalam *crusher* dan akan diberikan penambahan pasir besi dan silica serta dihaluskan pada *raw mill*. Setelah proses tersebut, material tersebut dipanaskan terlebih dahulu dalam *preheater stage*

sebelum akhirnya dilakukan proses pematangan material pada *kiln* dengan suhu mencapai $\pm 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang kemudian akan disebut *clinker*. Selanjutnya *clinker* akan didinginkan dalam *clinker doom* atau *clinker cooler* sebelum akhirnya akan ditambahkan *gypsum*, *trass*, dan *addictive material* lainnya didalam *finish mill*. Hasil akhir dari *finish mill* berupa semen yang sudah jadi dan akan dimasukkan dalam *cement storage* untuk disimpan sebelum akhirnya akan di *packing* dan didistribusikan ke konsumen. Diagram aliran material secara umum dapat dilihat pada Gambar 1.2 dibawah ini.

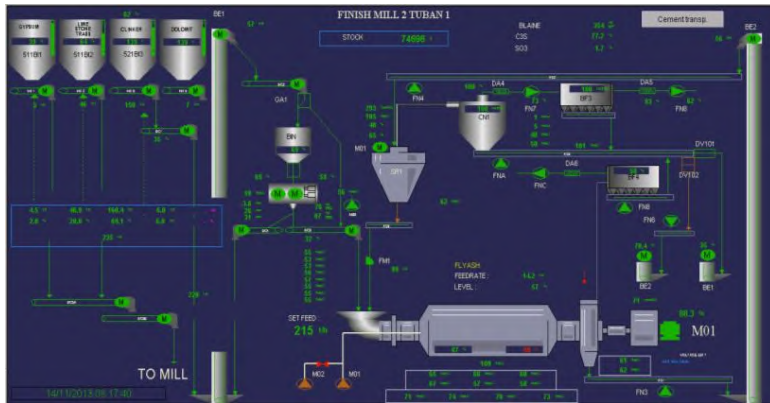


Gambar 1. 2 Skema Proses Pembuatan Semen [2]

Dalam proses pembuatan semen diatas terdapat area yang dinamakan *finish mill area* yang digambarkan pada Gambar 1.3. Area ini merupakan proses penggilingan akhir antara *clinker* serta penambahan bahan lain yaitu *gypsum*, *trass* dan *dolomit* seperti pada Gambar 1.3. Area ini dimulai dari *clinker* yang keluar dari

cooler dibawa oleh *Drag Bucket* (DB) menuju *Clinker Storage Silo*. *Clinker*, *gypsum*, *trass*, dan *dolomit* akan ditimbang terlebih dahulu pada *Weigh Feeder* (WF) setelah keluar dari masing-masing *Bin*. Setelah itu masing-masing material akan ditransferkan dengan *Belt Conveyor* (BC) dan *Bucket Elevator* untuk dimasukkan kedalam *Surge Bin* (BI). Kemudian material akan di *precrushing* dalam *Hydraulic Roller Crusher* (CR) melewati *Gate* (GA) dan diarahkan menuju *Ball Mill* untuk dihaluskan. Setelah material melewati *Ball Mill*, semen yang sudah hamper jadi akan diarahkan menuju *Separator* (SR) melalui *Bucket Elevator* (AS) dan *Air Slide* (AS) untuk dipisahkan antara semen yang sudah halus sesuai spesifikasi dan yang harus dihaluskan ulang (*re-crushing*).

Didalam *Separator* (SR), semen yang sudah sesuai spesifikasi akan tertarik menuju *Cyclone* (CN) dengan bantuan Fan 7 (FN7). Semen tersebut masih bercampur dengan udara sehingga perlu dipisahkan untuk mendapatkan semen jadi dan siap pakai. Pemisahan udara dan semen tersebut dilakukan oleh *Cyclone* (CN) dengan bantuan tarikan udara dari Fan 7 (FN7). Semen yang sudah jadi akan dibawa oleh *Air Slide* (AS), sedangkan udara yang telah dipisahkan akan diarahkan menuju *Bag Filter* (BF) dengan bantuan dari Fan 8 (FN8) untuk disaring supaya udara yang dikeluarkan tidak mengandung bahan berbahaya.



Gambar 1. 3 Diagram Proses Finish Mill 2 Pabrik Tuban 1

Dalam proses *finish mill* diatas, terdapat komponen yang sering mengalami *down* atau biasa disebut kegagalan fungsi. Hal tersebut dijelaskan oleh data pada tabel 1.1. Data tersebut diambil dari data *downtime* setiap komponen dari bulan Januari 2011 hingga Desember 2015 yang bersumber langsung dari PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

Tabel 1. 1 Total Kerugian Perusahaan

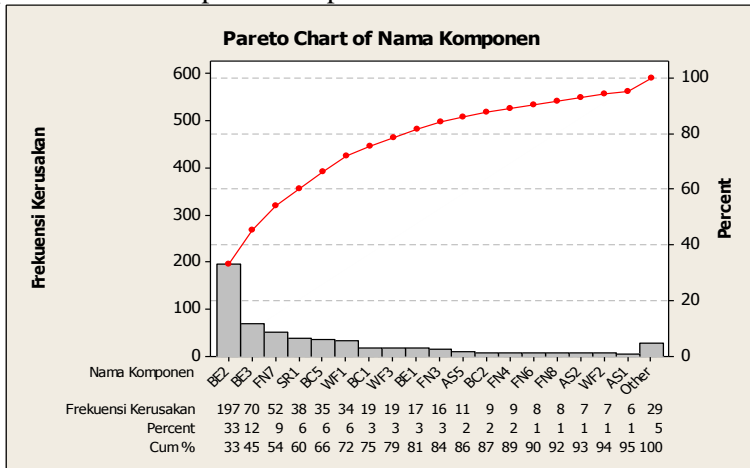
Nama Komponen	Frekuensi Kerusakan dalam 5 tahun	Total Durasi (jam)	Total Loss Produk (ton)
BE1	17	85,38	11911,58373
BE2	197	198,08	37443,8127
BE3	70	155,13	31366,9881
FNA	3	6,03	1241,39
FNC	5	4,02	788,0916092
FN3	16	15,72	3091,568606
FN4	9	5,10	1016,256829
FN6	8	8,67	1671,442705

FN7	52	61,92	12020,38217
FN8	8	9,46	1858,222968
SR1	38	68,35	13825,38064
AS1	6	25,15	4747,906478
AS2	7	12,07	2023,796035
AS5	11	44,92	6266,43104
WF1	34	49,13	9184,375108
WF2	7	29,44	6552,635818
WF3	19	41,91	7846,074645
BC1	19	38,97	6998,378972
BC2	9	29,49	5813,471492
BC3	3	4,76	844,1306322
BC5	35	101,14	18034,45348
BC9	2	3,9	795,82
BF4	6	6,31	1244,828913
BF7	1	0,17	32,42
BFA	2	2,68	457,07
FE	3	3,48	686,65
SP1	1	1,86	328,13
CR1	2	1,6	482,1471572
FM1	1	0,77	146,98
Total	591	1015,59	188720,8207

Pada tabel 1.1 didapatkan total frekuensi kegagalan yang terjadi pada seluruh komponen sebesar 591 kali dalam 5 tahun (9,85 kali/bulan). Sedangkan total durasi terhentinya proses produksi yaitu sebesar 1015,59 jam dalam 5 tahun (16,9265 jam/bulan) dan total produk yang tidak dapat diproduksi sebesar 188.720,82 ton. Apabila data pada tahun 2012 harga keuntungan semen berkisar Rp.420.000,- per ton, maka besarnya kerugian

perusahaan selama 5 tahun adalah sebesar Rp. 8.388.274.440.000,- atau sebesar Rp 8.388 triliun (Rp. 139,8 miliar/bulan)

Dari data pada tabel 1.1 diatas, kegagalan komponen yang ada dimasukkan dalam diagram pareto untuk mengetahui komponen yang mengakibatkan kegagalan terbesar. Diagram pareto tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.4 dibawah ini.



Gambar 1. 4 Diagram Pareto Frekuensi Kegagalan Komponen pada Finish Mill 2

Terlihat dari data diagram pareto diatas bahwa dalam lima tahun komponen yang sering mengalami kegagalan adalah komponen BE2 (*Bucket Elevator No.2*) dengan 197 kali kerusakan, dengan menyumbangkan total 33% dari total kerusakan pada *finish mill 2*. Kemudian diikuti oleh BE3 (*Bucket Elevator No.3*), FN7 (*Fan No.7*), SR1 (*Separator No.1*), BC5 (*Belt Conveyor No.5*), WF1 (*Weight Feeder No.1*), BC1 (*Belt Conveyor No.1*), WF3 (*Weight Feeder No.3*), dan berakhir pada BE 1 (*Bucket Elevator No.1*) untuk komulatif kerusakan dengan besaran 80%.

Pada tugas akhir ini, komponen yang akan dianalisis menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

adalah komponen pada FN 7 dengan kode komponen 542 FN7 yang menyumbang 9% dari total kegagalan yang ada (54 kali kegagalan dalam 5 tahun). Hal ini didasarkan pada hasil evaluasi yang ada bahwa pada komponen BE2 sebagian besar kegagalan terjadi diakibatkan oleh komponen lain diluar BE2. Sedangkan pada BE3 tidak dapat dianalisis karena sistem BE3 sudah tidak digunakan kembali pada sistem *finish mill* sejak tahun 2012.

1.2 Rumusan Permasalahan

Sering terjadinya kegagalan pada komponen 542 FN7 di *Finish Mill 2* merupakan permasalahan sendiri yang terjadi pada perusahaan PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Adapun rumusan permasalahan pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimanakan menentukan komponen kritis yang ada didalam komponen fan 542 FN7 dengan menggunakan pendekatan metode *Falilure Mode, Effect and Critical Analysis* (FMECA)
2. Bagaimanakah rencana strategis untuk perawatan komponen kritis fan 542 FN7 untuk mengurangi kegagalan dengan meningkatkan keandalan dengan pendekatan metode *Reliability Centered Maintenance*

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian tugas akhir ini berdasarkan rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan komponen kritis yang ada didalam komponen fan 542 FN7 dengan menggunakan pendekatan metode *Falilure Mode, Effect and Critical Analysis* (FMECA)
2. Menganalisis strategi perawatan komponen kritis fan 542 FN7 untuk mengurangi kegagalan yang terjadi dengan pendekatan metode *Reliability Centered Maintenance*

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberlakukan agar penelitian tugas akhir ini dapat berjalan secara fokus dan terarah serta dapat mencapai tujuan adalah sebagai berikut:

1. Analisis diasumsikan dimulai pada bulan Januari 2011 hingga Desember 2015 dimana pada bulan awal tersebut setiap komponen telah di *overhaul* dan kembali pada *zero time*.
2. Data yang digunakan adalah data lapangan, literatur, dan informasi pekerja yang diperoleh selama melaksanakan penelitian di PT. Semen Indonesia (Tbk)

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui strategi untuk perawatan komponen 542 FN7 yang tepat untuk mengurangi kegagalan yang terjadi
2. Dapat menjabarkan dan mengelompokkan permasalahan yang sering terjadi pada setiap komponen serta manajemen resikonya.
3. Dapat memberikan solusi kepada PT. Semen Indonesia (Tbk) untuk mengurangi komponen pada *finish mill* mengalami kerusakan tiba-tiba.

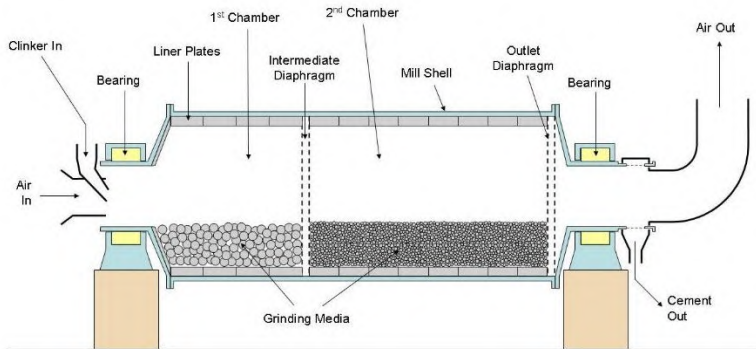
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Finish Mill*

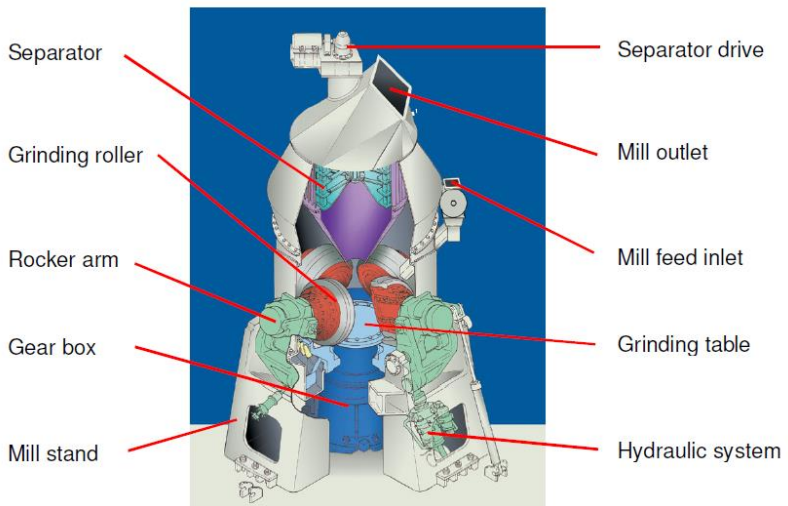
Finish mill merupakan unit penggilingan semen terakhir dimana *clinker* (terak) akan digiling bersamaan dengan bahan penolong yaitu gypsum dan atau trass. Pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk., *finish mill* terbagi menjadi 2 golongan besar, yaitu *horizontal mill* yang terdapat pada *finish mill* 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 dan *vertical mill* pada *finish mill* 7. Adapun perbedaan mendasar yang dapat menggolongkan 2 jenis *finish mill* tersebut adalah komponen utama pada unit penggilingan semen akhir.

Pada *horizontal mill*, komponen utama yang digunakan pada unit penggilingan semen akhir tersebut menggunakan *tube ball mill*, seperti pada Gambar 2.1. Mesin penggiling ini berbentuk silinder horisontal dimana sebagian diisi dengan bola baja yang berputar pada porosnya, dan bola baja akan mengikuti pergerakannya, pada saat tertentu bola akan terjatuh dan mengalami tumbukan satu dengan lainnya. Material yang berada didalam silinder horizontal akan hancur akibat tumbukan antar bola baja dan kekasaran permukaan. Material yang biasanya digunakan dalam mesin penggiling ini adalah *high-chromium steel*. Pada mesin penggiling ini biasanya terdapat 2 ruang (*chamber*) dimana setiap ruangan tersebut memiliki besar bola baja yang berbeda. Pada ruang yang pertama (1st *chamber*) biasanya diisi dengan bola baja berukuran 60-80mm, sedangkan pada ruang yang kedua (2nd *chamber*) biasanya diisi dengan bola baja berukuran 15-40 mm. Hal ini diaplikasikan karena terkadang material yang masuk *tube mill* masih berukuran besar, terutama *clinker*, sehingga perlu gaya yang lebih besar untuk menghancurkannya. Akan tetapi, hasil dari ruang pertama tidak akan cukup halus untuk dikatakan sebagai barang jadi, sehingga perlu adanya penghalusan lebih lanjut pada ruang kedua dengan bola baja yang lebih kecil.



Gambar 2. 1 Tube Ball Mill [3]

Kemudian untuk *vertical mill*, komponen utama yang biasanya digunakan pada unit penggilingan semen akhir tersebut adalah *OK vertical roller mill*, seperti pada Gambar 2.2. Pada mesin penggiling ini, bahan baku akan masuk kedalam *vertical roller mill* pada bagian tengah/tempat penggilingan, sementara itu udara masuk pada bagian bawah. Material yang sudah tergiling halus akan terbawa udara panas keluar mesin penggiling melalui bagian atas alat tersebut. *Vertical roller mill* memiliki bagian yang dinamakan *classifier* yang berfungsi untuk mengendalikan ukuran partikel yang keluar dari mesin penggiling, dimana untuk ukuran yang masih terlalu kasar/besar akan kembali lagi kedalam mesin penggiling untuk dilakukan proses penggilingan kembali hingga berukuran sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 2. 2 Vertical Roller Mill [4]

2.2 *Fan* (FN7)

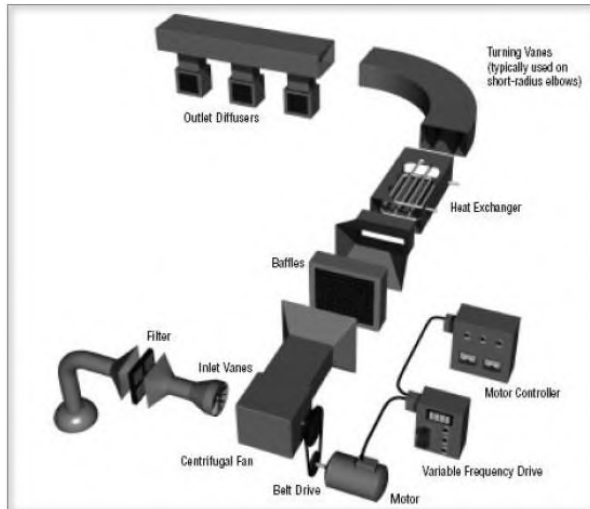
Fan adalah alat yang digunakan untuk memindahkan sejumlah volume udara atau gas melalui suatu aliran. Pemindahan tersebut dapat digunakan untuk memasok udara dalam proses pengeringan, pemindahan bahan tersuspensi di dalam aliran gas, pembuangan asap, pengondensasian Menara, pemasok udara untuk pembakaran boiler, pembuangan debu, aerasi sampah, pengeringan, pendinginan proses-proses industrial, sistem ventilasi ruangan, dan aplikasi sistem beraluran tinggi atau rendah lainnya.

Fan merupakan piranti yang menyebabkan aliran suatu fluida gas dengan cara menciptakan perbedaan tekanan melalui pertukaran momentum dari bilah fan menuju partikel-partikel fluida gas. *Fan impeller* mengubah energy mekanik rotasional menjadi energy kinetik dan statik dalam fluida gas. [3].



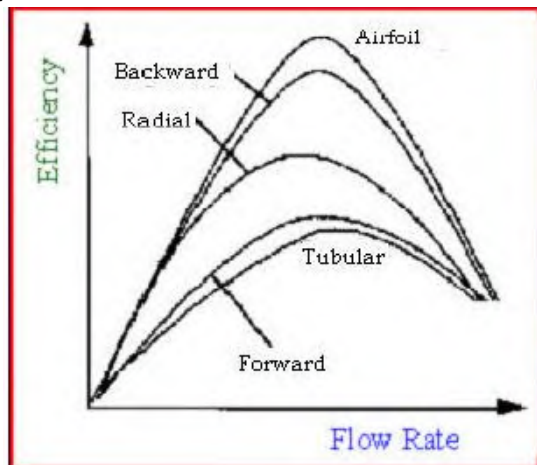
Gambar 2. 3 Fan [5]

Untuk memenuhi kebutuhan dalam proses penggilingan semen akhir, maka perlu digunakan *fan* yang dikategorikan sebagai *heavy duty* dimana *fan* tersebut dibuat dengan bahan khusus anti aus atau *wear resistance* dikarenakan material semen yang sangat abrasif. Pada aplikasinya, sering digunakan lapisan keramik, *chromium carbide* atau *tungsten carbide* untuk mendapatkan performa yang stabil dan berumur panjang. Rancangan *deflector* dapat disesuaikan untuk mengurangi efek abrasif dari material.



Gambar 2. 4 Komponen Sistem *Fan* [5]

Efisiensi fan tergantung pada jenis *fan* dan *impellernya*. Besarnya efisiensi dapat diatur dengan meningkatkan laju aliran pada besaran tertentu tergantung jenis *impellernya*. Adapun kisaran besaran efisiensi dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan Tabel 2.1.



Gambar 2. 5 Perbandingan Efisiensi dengan Laju Aliran [5]

Tabel 2. 1 Efisiensi Fan [5]

Type of Fan	Peak Efficiency Range
Centrifugal Fan	
Airfoil, backward curve/inclined	79-83 %
Modified Radial	72-79 %
Radial	69-75 %
Pressure Blower	58-68 %
Forward Curved	60-65 %
Axial Fan	
Vanaxial	78-85 %
Tubeaxial	67-72 %
Propeller	45-50 %

2.3 Reliability Centered Maintenance

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah proses sistematis yang digunakan untuk menentukan hal yang harus dilakukan untuk myakinkan bahwa setiap fasilitas fisik dari perusahaan dapat sesuai dengan fungsi desain secara terus menerus dalam kurun operasi waktu tertentu [6].

Metode RCM ini adalah metode untuk memprioritaskan perawatan yang dibutuhkan pada mode kegagalan tertentu, dan memilih perawatan yang efektif untuk mode kegagalan kritis. Metode RCM akan menjaga keseimbangan antara *preventive maintenance* dengan *corrective maintenance*. RCM sendiri adalah teknik yang digunakan untuk meningkatkan *cost effective maintenance plans and criteria* sehingga kapabilitas operasional dari peralatan dapat digunakan, dikembalikan atau diperbaiki.

Analisis RCM secara mendasar harus menjawab 8 pertanyaan [7], yaitu:

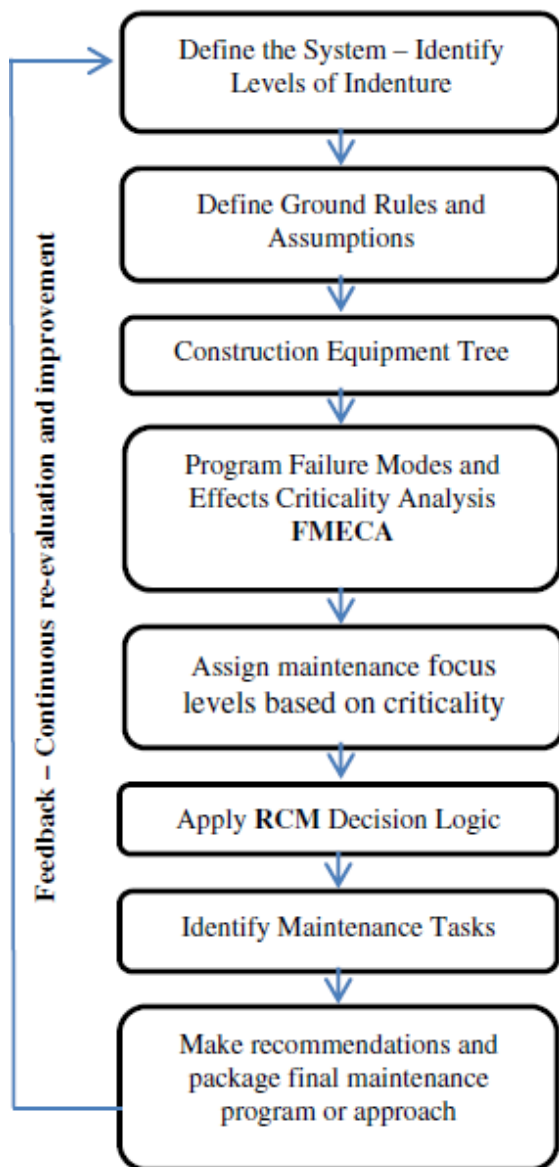
1. Bagaimanakah fungsi standar peralatan dalam konteks operasi?
2. Apakah yang dapat menyebabkan gagal untuk memenuhi fungsinya?

3. Apakah akibat dari setiap kegagalan yang terjadi?
4. Apakah yang terjadi apabila setiap kegagalan terjadi?
5. Apakah saat yang menyebabkan kegagalan menjadi sangat penting?
6. Apakah yang dapat dilakukan untuk mencegah kegagalan?
7. Apakah yang harus dilakukan apabila *preventive task* tidak ada yang sesuai?

Pada analisis RCM terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan. Pada standar IEC untuk analisis RCM terdapat beberapa langkah untuk analisis RCM, yaitu:

- Mendefinisikan sistem dan atau sub sistem serta batasannya
- Mendefinisikan fungsi dari sistem atau sub sistem yang diidentifikasi oleh *Functionally Significant Item* (FSI)
- Mengidentifikasi penyebab kegagalan fungsi FSI
- Memprediksi penyebab dan probabilitas dari kegagalan
- Menggunakan *Decision Logic Tree* untuk mengkategorikan efek dari kegagalan FSI
- Mengidentifikasi perawatan yang efektif dan dapat dilaksanakan dan dikomparaasikan dengan program perawatan yang sudah ada
- Mendesain ulang peralatan atau proses apabila tidak ada yang dapat diidentifikasi
- Menerapkan program perawatan dinamis, yang berasal dari pembaharuan rutin dan sistematis pada program perawatan yang sudah ada serta melakukan revisi berdasarkan *monitoring, collection and analysis* pada data terkait.

Pada Gambar 2.6 diperlihatkan *logic diagram* untuk metode RCM secara detail.

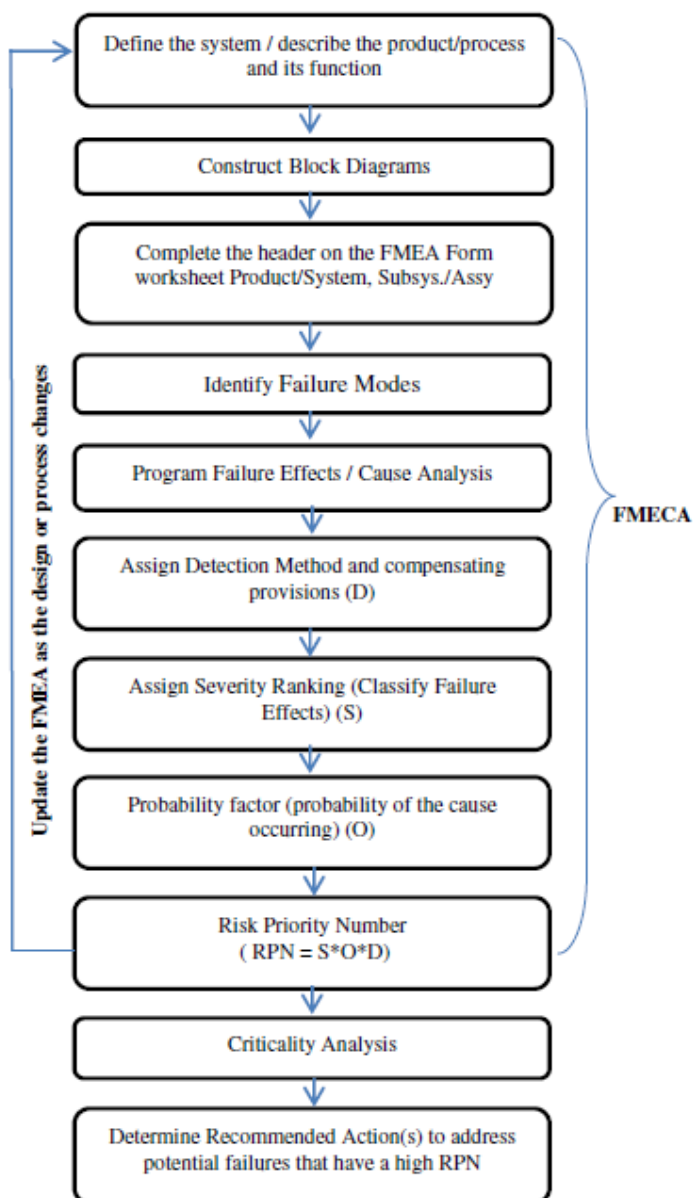


Gambar 2. 6 Model RCM [6]

2.3.1 Fault Mode, Effect and Critically Analysis

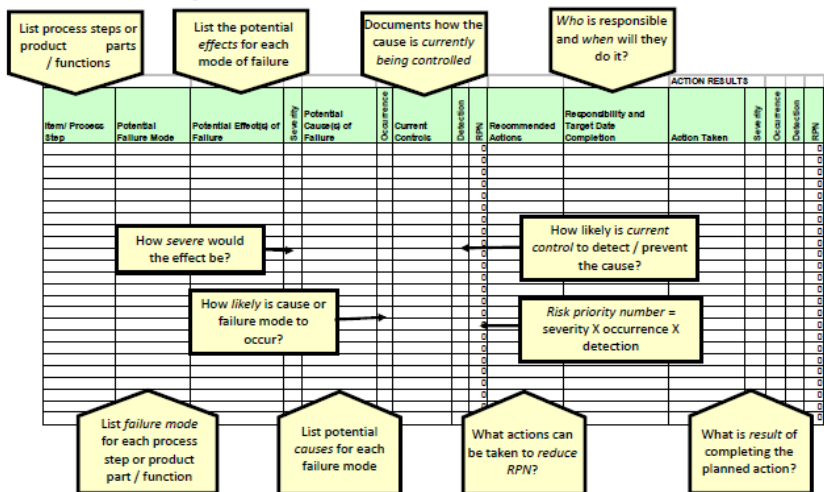
Fault Mode, Effect and Critically Analysis (FMECA) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui seberapa parah resiko kegagalan yang dapat terjadi dan menjadi acuan untuk pembuatan *action plan* sebelum diimplementasikan untuk mengurangi resiko yang ada.

FMECA adalah pendekatan terstruktur untuk mengidentifikasi jalan terjadinya produk atau proses dapat gagal, dan mengestimasi resiko yang dapat terjadi. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penyusunan FMECA seperti pada Gambar 2.7 adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 7 *Logic Diagram FMECA* [6]

Metode FMECA biasanya berupa tabel yang berisikan tentang benda atau proses yang akan dianalisis, potensi terjadinya model kegagalan, potensi efek dari kegagalan, potensi penyebab kegagalan, metode pengontrolan kegagalan yang sudah ada, rekomendasi aksi, penanggung jawab dan target penyelesaian, aksi yang dilakukan, serta perhitungan seperti seberapa parah kegagalan terjadi (*severity*), seberapa sering kejadian terjadi (*occurrence*), seberapa sulit kegagalan dideteksi (*detection*), serta perhitungan prioritas kegagalan yang harus diantisipasi (*Risk Priority Number / RPN*). Tabel tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Failure Mode, Effect and Critically Analysis
[8]

Pada tabel *severity*, klasifikasi seberapa parah kegagalan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 2.2. Dimana inti dari tabel tersebut adalah semakin parah kegagalan yang terjadi, maka nilai yang diberikan akan semakin besar. Begitupula dengan sebaliknya. [8]

Tabel 2. 2 Saverity Rating Scale
Parameters FMECA (severity)

Effect	Criteria: Severity of Effect Defined	Ranking
Hazadous: Without Warning	Komponen dapat meledak, atau mengakibatkan kerusakan serius pada sistem besar tanpa ada pemberitahuan sebelumnya	10
Hazadous: With Warning	Komponen dapat meledak, atau mengakibatkan kerusakan serius pada sistem besar tetapi ada pemberitahuan sebelumnya	9
Very High	Sistem harus dimatikan seluruhnya akibat adanya mesin yang harus dilakukan perbaikan besar (<i>overhoule</i>) saat kegagalan terjadi.	8
High	Sistem harus dimatikan seluruhnya akibat adanya mesin yang harus dilakukan perbaikan besar (<i>overhoule</i>) dalam rentang waktu 1-4 minggu setelah kegagalan terjadi	7
Moderate	Sistem harus dimatikan seluruhnya akibat adanya mesin yang harus dilakukan perbaikan kecil (<i>service</i>) saat kegagalan terjadi	6
Low	Sistem harus dimatikan seluruhnya akibat adanya mesin yang harus dilakukan perbaikan kecil (<i>service</i>) saat <i>preventive maintenance</i> mingguan	5
Very Low	Sistem tidak harus dimatikan, dan perbaikan atas kegagalan dilakukan saat jadwal <i>preventive maintenance</i> bulanan	4
Minor	Sistem tidak harus dimatikan, dan perbaikan atas kegagalan dilakukan saat jadwal <i>overhoule</i> atau <i>preventive maintenance</i> per-3 bulan.	3

Very Minor	Sistem tidak harus dimatikan, dan perbaikan atas kegagalan dilakukan saat jadwal <i>overhoule</i> atau <i>preventive maintenance</i> tahunan.	2
None	<i>No effect</i>	1

Pada tabel *occurrence*, klasifikasi seberapa parah kegagalan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 2.3. Dimana inti dari tabel tersebut adalah semakin sering kegagalan yang terjadi, maka nilai yang diberikan akan semakin besar. Begitupula dengan sebaliknya.

Tabel 2. 3 Occurrence Rating Scale

Parameters

FMECA(occurrence)

Possible rate of occurrence	Criterion of occurrence	Value
<i>Occurrence (O)</i>		
Once more than 5	Failure near zero or no	1
Once every 5	Very low, failure	2
2 times every 5	Low, often fail	3
3 times every 5		4
4 times every 5	Average, occasional	5
Once every year		6
Once every 6		7
Once every 3	High, frequent failure	8
Once every month		9
Once every week	Very high, very high failure	10

Pada tabel *detection*, klasifikasi seberapa parah kegagalan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 2.4. Dimana inti dari tabel tersebut adalah semakin sulit kegagalan yang terjadi dideteksi,

maka nilai yang diberikan akan semakin besar. Begitupula dengan sebaliknya.

Tabel 2. 4 *Detection Rating Scale*

Parameters FMEA (detectability).		
Level of detectability	Criterion of detectability	Value
<i>Detectability (D)</i>		
Not detectable	Impossible	10
Difficult to detect	Very difficult	9
	Very late	8
Detecting random (Unlikely)	Not sure	7
	Occasional	6
Possible detection	Low	5
	Late	4
Reliable detection	Easy	3
	Immediate	2
Detection at all times	Immediate corrective action	1

Pada tabel *Risk Priority Number (RPN)*, besaran nilai tersebut merupakan perkalian dari *severity x occurrence x detection*. Dimana semakin besar nilai RPN, maka semakin parah kegagalan yang terjadi, dan harus diprioritaskan terlebih dahulu untuk dianalisis atau diperbaiki. Kriteria dari RPN dapat dilihat pada Tabel 2.7. [6]

Tabel 2. 5 *Critically Scale*

FMECA (criticality).		Risk or Hazard
Criticality (C)		
Degree of criticality	Value	
Minor	0–30	Acceptable
Medium	31–60	Tolerable
High	61–180	
Very high	181–252	Unacceptable
Critical	253–324	
Very critical	>324	

2.3.2 Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan/kerusakan yang terjadi per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen, perangkat, atau sistem. [9]

Secara matematis. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{f}{T} \quad (2.1)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.2)$$

Dimana:

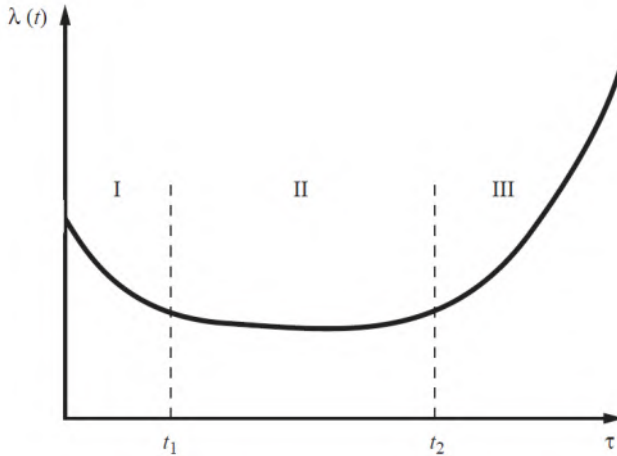
f = banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

T = total waktu operasi

2.3.3 Karakteristik Kegagalan

Menurut laju kerusakannya, klasifikasi distribusi dibagi menjadi 3 yaitu: *Early Life (Burn in)*, *Usefull Life*, dan *Wear Out*. Perilaku laju kerusakan terhadap waktu sangat berhubungan dengan penyebab kerusakan. Kerusakan yang terjadi dalam suatu sistem atau komponen mengalami fluktuasi sesuai dengan

kemampuan material. Bentuk karakteristik dari laju kegagalan dalam teori keandalan untuk sebuah sistem maupun komponen secara matematis ditampilkan dalam *Bathtub Curve*, seperti pada Gambar 2.9



Gambar 2. 9 Bathtub Curve [10]

Pada kurva tersebut, daerah I merupakan fase pemanasan (*Burn-in/Early life*). Kurva menunjukkan kegagalan komponen yang mengalami penurunan dalam periode 0 sampai dengan t_1 , atau diistilahkan dengan *Decreasing Failure Rate* (DFR). Kerusakan yang terjadi umumnya karena kesalahan pada saat proses manufacturing dan fabrikasi, pengoprasian yang tidak tepat, atau belum terampilnya operator sehingga perlu penyesuaian lebih lanjut.

Pada daerah II merupakan fase berguna suatu komponen (*usefull life*). Laju kegagalan yang sangat kecil dan cenderung konstan dalam periode t_1 sampai dengan t_2 , atau diistilahkan dengan *Constant Failure Rate* (CFR). Kerusakan yang terjadi bersifat acak (*random*) dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan bekerjanya peralatan.

Pada daerah III merupakan fase aus (*wear out*) suatu komponen. Kurva menunjukkan laju kerusakan mengalami peningkatan dalam periode t_2 hingga seterusnya, atau diistilahkan

dengan *Increasing Failure Rate* (IFR). Kerusakan ini disebabkan oleh korosi, oksidasi, keausan, *fatigue*, dan lain sebagainya serta pola kerusakannya tidak dapat diprediksi. [11]

2.3.4 Maintainability

Maintainability adalah probabilitas komponen atau sistem yang mengalami kegagalan dapat diperbaiki dan kembali beroperasi secara efektif dalam kurun waktu tertentu dimana saat dilakukan perbaikan harus sesuai dengan standar operasi yang berlaku. [12]

2.3.5 Availability

Availability adalah parameter yang berguna untuk mendiskripsikan kemampuan suatu komponen atau sistem untuk menjalankan fungsinya dalam waktu yang telah ditentukan. [11]

Secara matematis, *availability* dapat dituliskan dalam persamaan:

$$A(i) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.3)$$

Dimana:

MTBF = *Mean Time Before Failure* (Waktu rata-rata antar kegagalan)

MTTR = *Mean Time to Repair* (Waktu rata-rata perbaikan kegagalan)

2.3.6 Distribusi Data Waktu Kegagalan

2.3.6.1 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan untuk laju kegagalan konstan (*Constant Failure Rate*). Terdapat dua parameter dalam distribusi eksponensial, yaitu t (fungsi waktu) dan t_0 (parameter lokasi). Apabila t_0 bernilai 0, maka menjadi distribusi eksponensial satu parameter. [13]

Terdapat beberapa fungsi matematis dalam distribusi eksponensial yaitu:

- Fungsi distribusi kegagalan

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda(t-t_0)} \quad (2.4)$$

- Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-\lambda(t-t_0)} \quad (2.5)$$

- Fungsi laju kegagalan

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.6)$$

- *Maintainability*

$$M(t) = 1 - \exp(-\lambda(t - t_0)) \quad (2.7)$$

- *Mean Time Between Failure*

$$MTBF = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.8)$$

2.3.6.2 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull memiliki tiga parameter [14], yaitu

- *Location or time delay, parameter* γ
- *Shape parameter, or slope* β
- *Scale parameter* η

Apabila *location parameter* (γ) bernilai 0, maka distribusi tersebut menjadi distribusi Weibull 2 parameter.

Terdapat beberapa fungsi matematis dalam distribusi Weibull yaitu:

- Fungsi distribusi kegagalan

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.9)$$

- Fungsi keandalan

$$R(t) = \exp - \left[\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.10)$$

- Fungsi Laju kegagalan (*failure reate*):

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t-\gamma}{\theta} \right)^{\beta-1} \quad (2.11)$$

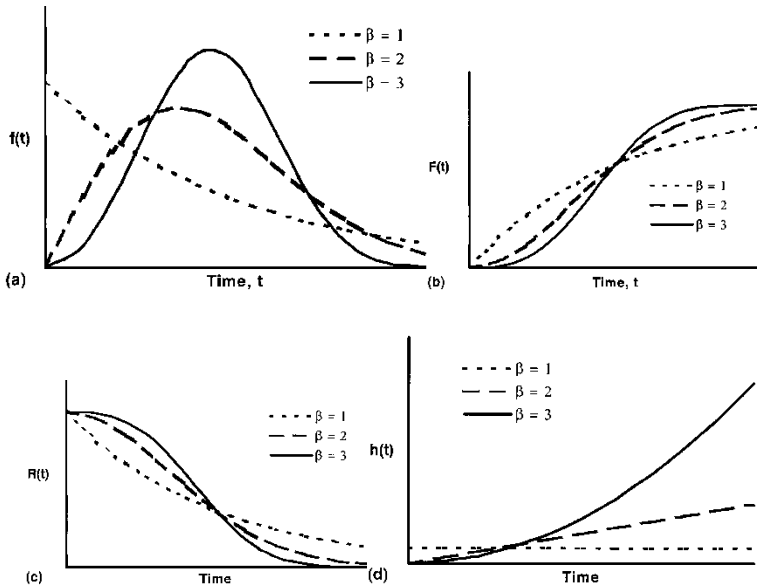
- *Maintainability*

$$M(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (2.12)$$

- *Mean Time Between Failure*

$$MTBF = \gamma + \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.13)$$

Adapun grafik kurva untuk distribusi diatas sesuai pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 (a) Kurva Fungsi Distribusi Kegagalan; (b) Kurva *Maintainability*; (c) Kurva Fungsi Keandalan; (d) Kurva Keandalan [14]

2.3.6.3 Distribusi Normal

Distribusi normal memiliki beberapa parameter [14], diantaranya adalah:

- *Mean (arithmetic average)* $t = \mu$
- *Median (t_{50} , or time at 50% failure)* $t = \mu$
- *Mode (highest value of $f(t)$)* $t = \mu$

- *Location parameter* μ
- *Shape parameter* σ
- *s (estimate of σ)* $t_{50} - t_{16}$

Terdapat beberapa fungsi matematis dalam distribusi Normal, yaitu:

- Fungsi distribusi kegagalan

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.14)$$

- *Maintainability*

$$M(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] dt \quad (2.15)$$

- Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - M(t) \quad (2.16)$$

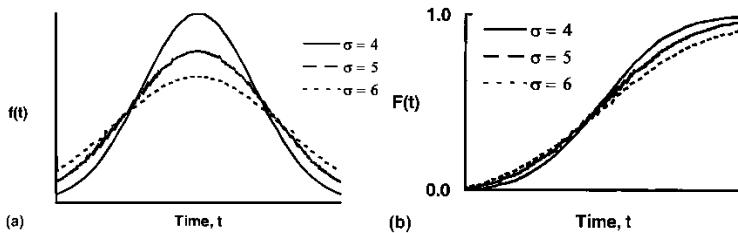
- Fungsi laju kegagalan

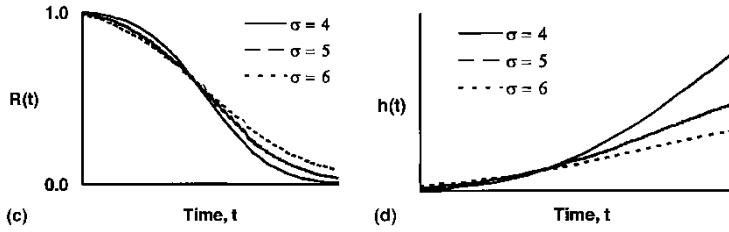
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{M(t)} \quad (2.17)$$

- *Mean Time Between Failure*

$$MTBF = \mu \quad (2.18)$$

Adapun grafik kurva untuk distribusi diatas sesuai pada Gambar 2.11.





Gambar 2. 11 (a) Kurva Fungsi Distribusi Kegagalan; (b) Kurva *Maintainability*; (c) Kurva Keandalan; (d) Kurva Laju Kegagalan [13]

2.3.6.4 Distribusi Log Normal

Distribusi log normal memiliki beberapa parameter [14], diantaranya adalah:

- | | |
|--|---|
| • <i>Mean</i> | $t = \exp \left[\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \right]$ |
| • <i>Median</i> (t_{50}) | $t = e^{\mu}$ |
| • <i>Mode</i> | $t = \exp(\mu - \sigma^2)$ |
| • <i>Location parameter</i> | e^{μ} |
| • <i>Shape parameter</i> | σ |
| • <i>s (estimate of σ)</i> | $\ln \frac{t_{50}}{t_{16}}$ |

Terdapat beberapa fungsi matematis dalam distribusi Log Normal yaitu:

- Fungsi distribusi kegagalan

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.19)$$

- *Maintainability*

$$M(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t \frac{1}{t} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] dt \quad (2.20)$$

- Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - M(t) \quad (2.21)$$

- Fungsi laju kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - M(t)} \quad (2.22)$$

- *Mean Time Between Failure*

$$MTBF = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.23)$$

2.3.7 Preventive Maintenance

Preventive maintenance dapat dideskripsikan sebagai perawatan berkala yang dilakukan oleh individu yang terlibat dengan perawatan untuk menjaga suatu peralatan agar tetap dalam kondisi yang baik saat dioperasikan dengan menyediakan pemeriksaan, deteksi dan koreksi yang sistematis terhadap kegagalan yang belum maupun akan terjadi. [15]

Tujuan utama dilakukannya *preventive maintenance* adalah:

8. Meningkatkan *usefull life* peralatan
9. Mengurangi kerusakan pada komponen penting
10. Memungkinkan adanya perencanaan dan penjadwalan yang baik untuk kegiatan *maintenance*
11. Meminimalkan kerugian produksi akibat kegagalan alat.

Kegiatan *preventive maintenance* dapat meningkatkan keandalan suatu sistem atau komponen [15]. Perumusan dari keandalan dengan *preventive maintenance* dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$R_m(t) = R(T)^n R(t - nT) \quad (2.24)$$

Dimana:

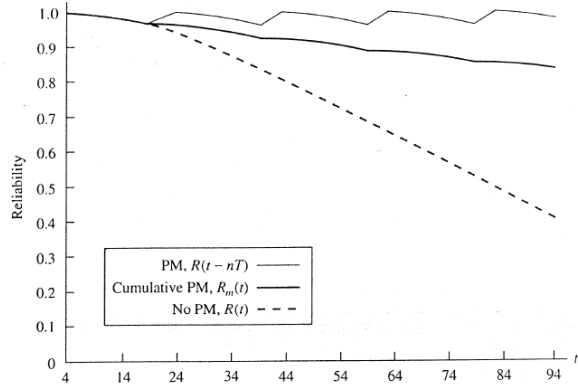
$R(T)^n$ = probabilitas ketahanan sampai dengan *preventive maintenance* ke-n

$R(t-nT)$ = probabilitas ketahanan selama jangka waktu $t-nT$ yang telah ditentukan sebelumnya pada kondisi awal.

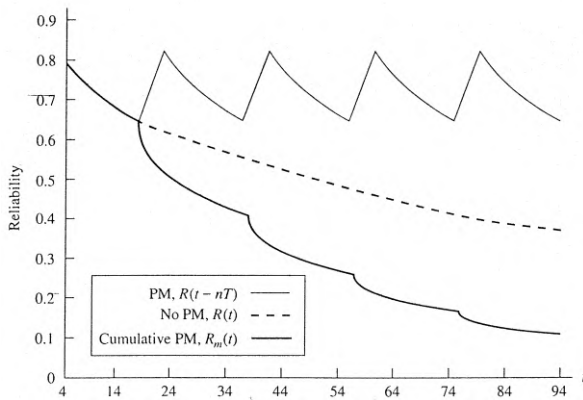
Peralatan atau sistem yang memiliki model *Constant Failure Rate* (CFR) atau laju kegagalan konstan, jika dilakukan *preventive maintenance* maka tidak akan memiliki efek sama sekali [15] sesuai dengan persamaan berikut:

$$R_m(t) = e^{\lambda nT} e^{-\lambda t} e^{\lambda nT} = R_m(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.25)$$

Sedangkan untuk sistem yang memiliki model *Time Dependent Failure* maka efek dari *preventive maintenance* dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut:



(a)



(b)

Gambar 2. 12 Kurva Keandalan *Preventive Maintenance* untuk (a) *Increasing Failure Rate*; (b) *Decreasing Failure Rate* [13]

2.3.8RCM Decision Logic

RCM Decision Logic merupakan proses yang digunakan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing-masing mode kegagalan. Hal ini bertujuan untuk mengklasifikasikan mode kegagalan kedalam beberapa kategori sehingga dapat ditentukan tingkat prioritas dalam penanganan masing-masing mode kegagalan berdasarkan kategorinya. Terdapat tiga pertanyaan untuk mengklasifikasikan mode kegagalan tersebut, yaitu:

- *Evident*, yaitu apakah operator mengetahui kondisi normal, atau telah terjadi gangguan dalam sistem?
- *Safety*, yaitu apakah mode kerusakan ini menyebabkan masalah keselamatan?
- *Outage*, yaitu apakah mode kerusakan ini mengakibatkan seluruh atau sebagian mesin berhenti? [16]

Berdasarkan *decision logic* tersebut mode kegagalan dapat digolongkan dalam empat kategori yaitu:

- Kategori A, jika mode kegagalan mempunyai konsekuensi *safety* terhadap personel maupun lingkungan.
- Kategori B, jika mode kegagalan mempunyai konsekuensi terhadap *operational plant* (mempengaruhi kuantitas ataupun kualitas output) yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi secara signifikan.
- Kategori C, jika mode kegagalan tidak berdampak pada *safety* maupun *operational plant* dan hanya menyebabkan kerugian ekonomi yang relatif kecil untuk perbaikan.
- Kategori D, jika mode kegagalan tergolong sebagai *hidden failure* (kegagalan yang tersembunyi), yang kemudian digolongkan lagi ke dalam kategori D/A, kategori D/B, dan kategori D/C

Contoh dari *Logic Tree Analysis* ada pada Gambar 2.13.



Sebelum Terdahulu

Engineering and System Safety mengenai *System Reliability as Perceived by Maintenance Personnel on Petroleum Production Facilities* oleh A. Antonovsky, C. Pollok, dan L. Straker tahun 2016 [18] mengatakan bahwa terdapat relasi antara efektivitas organisasi dari staff perbaikan dengan keandalan dari operasi *petroleum*. Dalam penelitian ini, data yang diolah didapatkan dari survey beberapa sampel personel perbaikan dan data MTBF dari setiap komponen. Adapun terdapat 4 tema besar yang diangkat karena memiliki ikatan kuat dengan keandalan komponen, yaitu:

Keempat tema diatas kemudian dijabarkan menjadi 12 tema yang kemudian dijabarkan kembali menjadi 57 sub tema,

kemudian diambil survey pada 113 partisipan dari personel perbaikan. Hasilnya adalah seperti pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Hasil Survey

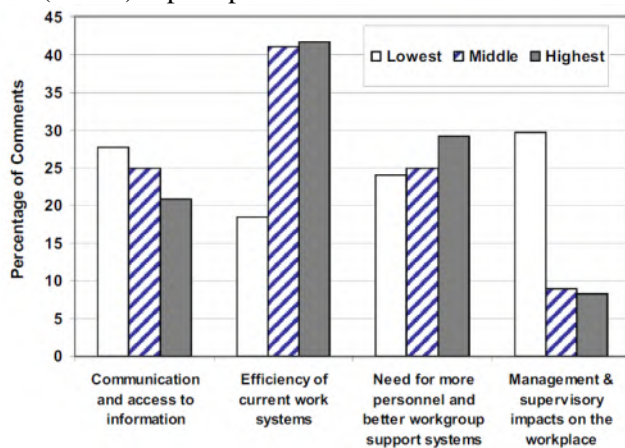
Themes	Sub-Themes	Freq.
A. Communication processes	Lack of communication between departments Information from supervisor not consistent. Little contact with production	8
B. Planning and work scopes	Planning scopes of work Poor planning.	11
C. Workloads and time pressures	Many jobs on the go. High work load. No job levelling. Not enough time.	7
D. Poor decision-making	Decision-making too fast, inconsistent; no understanding of issues. Operations not allowing work to be completed Repeating maintenance errors-not documenting lessons learned Not prepared to shutdown equipment for maintenance . 'Breakdown' approach Inflexibility in changing Operations model	16
E. Better work systems-workplace efficiency	Need for proactivity; not doing things smarter Long lead times. Maintainers bogged down with SAP, computer work QA [Quality Assurance] needs improvement; KEQ [a contractor to the company] causes unnecessary hold-ups. Confusing permit system; hard to implement Permit system delays work Changes not fully rolled out Lack of transport to job-site. Too many private vehicles. Too much administration/paperwork Management of change takes too long. Limited resources for new systems. Delays to work that reduce efficiency	57
F. Shortage of personnel & Support staff/Teamwork	On-board planner/activity coordinator needed Need to be team players/assist one another. Insufficient personnel; more people needed Slow engineering dept. On-board engineer needed	24
G. Training needs & Competency	Training opportunities inadequate. Competency, e.g. in plant operations; more reliance on experienced staff.	13
H. Procedures & work direction	Few procedures Procedures not up-to-date or incorrect Procedures take too long to implement	10
I. Lack of information	Information hard to find, e.g. how the plant works Lack of drawings and technical data Job-related knowledge is word-of-mouth from workmates Difficult to locate information in SAP [the computerised maintenance management system]. SAP needs improvement Poor BOMs [Bills of Materials], BOMs behind the times, e.g., need pictures Information sessions to know the big picture Out of date information, e.g. maintenance orders, telephone lists SAP not set-up or used correctly; differences across facilities	28
J. Management & supervision	Operators control maintainers work Lack of management participation at meetings Team leader supervision is good Not enough supervision Top heavy in staff who make excuses; seat polishers Focus on costs without understanding contributors to costs. Politics Lack of cohesion/cooperation between depts (e.g. Major Maintenance & Core crew) H&S culture poor. Production before safety	21
K. Workforce consistency	Consistency of personnel, e.g. between shifts High staff turnover Changes not fully rolled out Too many contractors & different companies.	7
L. Equipment & spares	Problems with ageing plant and machines Inadequate spares Lack of tools or equipment, e.g. two-way radios Problems with quality of vendor parts and repairs Involve maintainers in design. Standardise equipment designs.	15

Dari tabel diatas kemudian disimpulkan menjadi empat tema besar seperti yang telah dijabarkan sebelumnya. Seperti pada Tabel 2.7 dibawah ini.

Tabel 2. 7 Pengelompokan Hasil Survey

Super-ordinate themes	Themes	Frequency
Communication and access to information	A,H,I	45
Efficiency of current work systems	B,E,L	85
Need for more personnel and better workgroup support systems	C,F,G,K	50
Management & supervisory impacts on the workplace	D,J	37
Total		217

Dari hasil survey tersebut, keempat tema besar didistribusikan menurut tempat personel bekerja. Pada tempat kerja tersebut, telah dilakukan perhitungan MTBF setiap komponen, sehingga didapatkan keandalan berupa keandalan tertinggi (*highest*), keandalan menengah (*middle*), dan keandalan terendah (*lowest*) seperti pada Gambar 2.14 dibawah ini.



Gambar 2. 14 Distribusi Hasil Survey untuk Empat Tema Besar dengan Besar Keandalan pada Komponen di Tempat Kerja

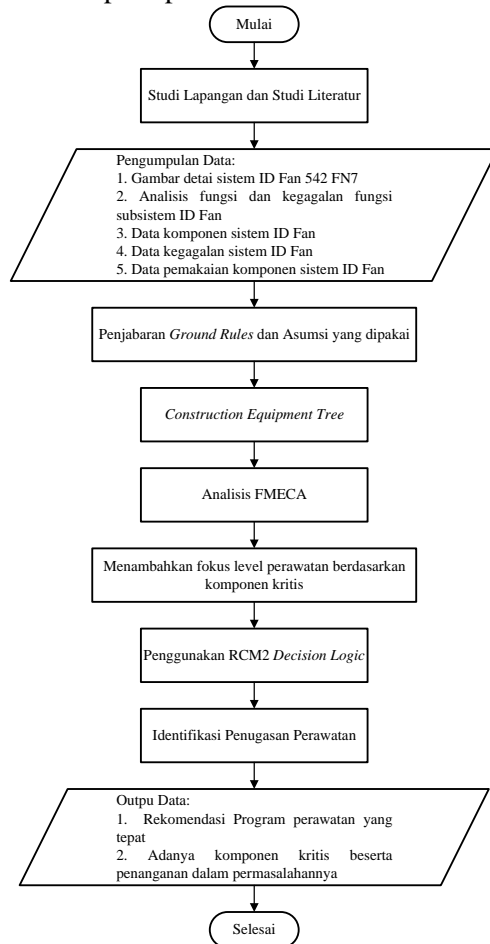
Hasil dari tabel dan gambar diatas didapatkan bahwa pada tempat kerja yang memiliki keandalan tinggi adan menengah, sangat terkonsentrasi pada efisiensi dari sistem kerja yang ada. Sedangkan pada tempat kerja yang memiliki kenadalan rendah, sangat terkonsentrasi pada dampak yang akan dihasilkan pada tempat kerja akibat manajemen yang ada. Dari keempat tema besar yang diusung diatas didapatkan bahwa terdapat ikatan yang signifikan dengan MTBF setiap komponen, yaitu sebesar: $\chi^2(6, N=158) = 16.2, p=0.013$.

Kemudian pada tesis yang telah diterbitkan oleh Risa Ayu Faizah dengan judul “Analisis Keandalan dan *Safety Integrated Level* pada Stripper PV-3900 di Industri Pengolahan Minyak” [13] mengatakan bahwa pada perusahaan industry tersebut sering mengalami kegagalan kerja komponen sehingga mempengaruhi produksi minyak dan gas, serta menyebabkan kerugian. Oleh karena itu analisis dilakukan untuk menentukan nilai *reliability*, *safety*, dan *risk management* pada masing-masing komponen sistem pengendalian. Hasil dari analisis tersebut menunjukkan bahwa *reliability* stripper PV-3900 dapat memenuhi target 0,8 selama lebih dari 15000 jam. Semua sistem pengendalian pada stripper PV-3900 berada pada tingkat SIL 1. Sedangkan total biaya yang ditanggung oleh perusahaan dalam kurung waktu 5 tahun adalah sebesar Rp. 175.966.396.887. Akan tetapi pada analisis tersebut belum dijelaskan mengenai penyebab-penyebab kerusakan yang dapat terjadi dan *action plan* yang dibutuhkan ketika terdapat kerusakan-kerusakan yang diakibatkan oleh hal yang sama (sering berulang)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini seperti pada Gambar 1.3 berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Prosedur Pengerjaan Tugas Akhir

Proses dalam penyelesaian tugas akhir ini melalui beberapa tahap sebagai berikut:

1. Observasi Lapangan

Observasi lapangan atau studi lapangan dilakukan dengan cara mendatangi langsung PT Semen Indonesia di Tuban, Jawa Timur. Hal ini dilakukan dalam rangka pencarian data yang akan menjadi acuan pengerjaan tugas akhir ini.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara mencari dan mempelajari bahan pustaka yang menunjang dan berkaitan dengan pengerjaan tugas akhir ini. Sumber pustaka dari tugas akhir ini bersumber dari buku yang telah ada, dan publikasi-publikasi ilmiah.

3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini data yang dikumpulkan merupakan data yang berasal dari PT. Semen Indonesia (Persero) dari Januari 2011 sampai dengan Desember 2015. Data-data tersebut yaitu:

1. Gambar detail sistem Fan 542 FN7
2. Analisis fungsi dan kegagalan fungsi subsistem Fan
3. Data komponen sistem Fan
4. Data kegagalan sistem Fan
5. Data pemakaian komponen sistem Fan

4. Penjabaran Aturan Dasar dan Asumsi yang Dipakai

Sebelum komponen dianalisis menggunakan metode RCM, perlu adanya aturan dasar dan asumsi yang digunakan. Penggunaan aturan dasar dan asumsi digunakan untuk mempermudah jalannya pengerjaan

5. Analisis Failure Mode, Effect and Critical Analysis

Pada tahap ini, FMECA digunakan untuk mengevaluasi potensi kegagalan dan efek serta penyebabnya secara sistematis dan terstruktur. FMECA digunakan untuk mengambil aksi guna

mengurangi kegagalan dimulai dari komponen yang diprioritaskan.

Tabel FMECA akan disusun seperti pada Gambar 2.8 dan akan dikerjakan sesuai langkah prosedur pada Gambar 2.7.

6. Penangan Permasalahan Dengan RCM 2 *Decision Logic Tree*

Langkah ini digunakan sebagai metode untuk menyimpulkan hasil analisis FMECA, kemudian dicari penanggulangan yang tepat untuk setiap penyebab kerusakan. Sehingga setiap komponen yang ada dapat ditanggulangi dengan metode yang tepat, dan tidak menghabiskan biaya yang berlebihan.

Adapun aksi yang dilakukan untuk menanggulangi kegagalan komponen adalah sesuai dengan mode kegagalannya yang didasarkan pada tabel RCM 2 pada Gambar 2.13

7. Identifikasi Penugasan Perawatan

Langkah ini adalah langkah terakhir dari metode RCM dimana model perawatan pada setiap komponen disesuaikan sesuai dengan prioritasnya. Hasil keluaran dari RCM akan dirangkum dan dijadikan rekomendasi untuk perusahaan terkait.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, dijelaskan mengenai pengumpulan data dan pengolahan terhadap data yang telah dihimpun dari PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Data-data tersebut berupa data kualitatif dan kuantitatif, dimana data kualitatif merupakan informasi yang berkaitan dengan sistem yang digunakan pada perusahaan, pemeliharaan yang dilakukan pada area *finish mill* 2 pabrik Tuban 1 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk., serta informasi-informasi lainnya yang berkaitan dengan kualitatif. Sedangkan data kuantitatif adalah informasi yang dikumpulkan berupa waktu antar kerusakan komponen, waktu perbaikan, data biaya perbaikan, serta informasi-informasi lainnya yang berkaitan dengan kuantitatif. Seluruh data yang diperoleh ditabulasikan dan diolah menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* untuk mendapatkan rancangan pemeliharaan yang tepat pada Fan 542 FN7 *Finish Mill* 2 Pabrik Tuban 1 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

4.1 Perawatan Yang Dilakukan Oleh PT. Semen Indonesia

Strategi perawatan yang diterapkan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. adalah *predictive*, *preventive*, dan *corrective* maintenance. Artinya berbagai macam perawatan, perbaikan, dan penggantian dilakukan untuk setiap komponen terkecil, sehingga sistem perawatan di PT. Semen Indonesia sangat banyak dan kompleks.

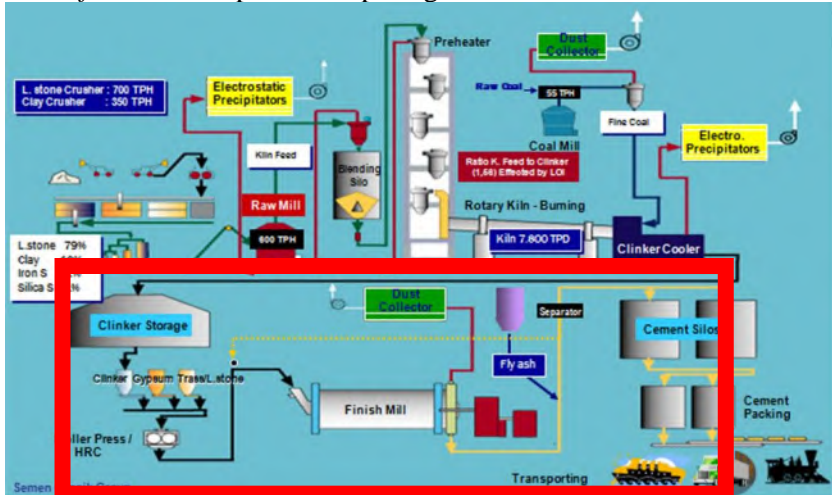
Saat ini, PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. melakukan jenis perawatan *preventive maintenance* pada peralatan pabrik berdasarkan jadwal *overhaul* setiap satu tahun sekali untuk setiap *finish mill*. Kegiatan yang dilakukan berupa pengecekan kondisi setiap komponen, perbaikan komponen yang rusak, serta penggantian komponen apabila diperlukan. Lama dari perawatan tersebut tergantung pada tingkat kerusakan dan model kerusakan pada setiap peralatan yang terjadi.

Akan tetapi, apabila terdapat beberapa kondisi yang membahayakan ataupun tidak sesuai dengan batas minimal standar yang ditentukan, terkadang sistem harus dimatikan untuk dilakukan pengecekan dan penanganan pertama. Hal tersebut diatasi dengan menggunakan *predictive maintenance* dan *corrective maintenance*.

Selama ini, kegiatan perawatan dan perbaikan yang digunakan selalu dicatat dalam buku kerusakan. Data tersebut hanya berupa daya tertulis peralatan di unit Pemeliharaan Mesin *Finish Mill* dan belum digunakan secara optimal untuk analisis kondisi komponen tersebut.

4.2 Penjabaran Kegunaan Sistem *Finish Mill*

Seperti pada penjelasan pada latar belakang, *Finish Mill* merupakan proses penggilingan akhir antara *clinker* serta penambahan bahan lain yaitu *gypsum*, *trass* dan *dolomit* sesuai komposisi tertentu tergantung jenis semen yang akan dibuat. Posisi *finish mill* dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4. 1 Posisi *Finish Mill* Pada Proses Pembuatan Semen

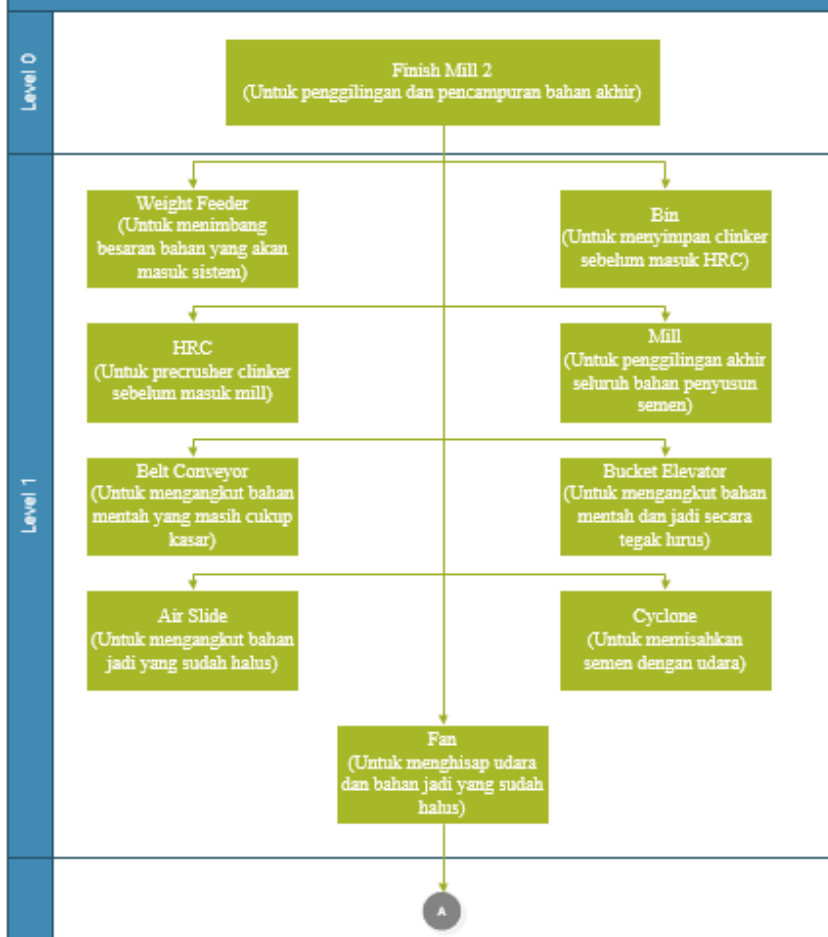
4.3 Ruang Lingkup Sub Sistem Fan 542 FN7

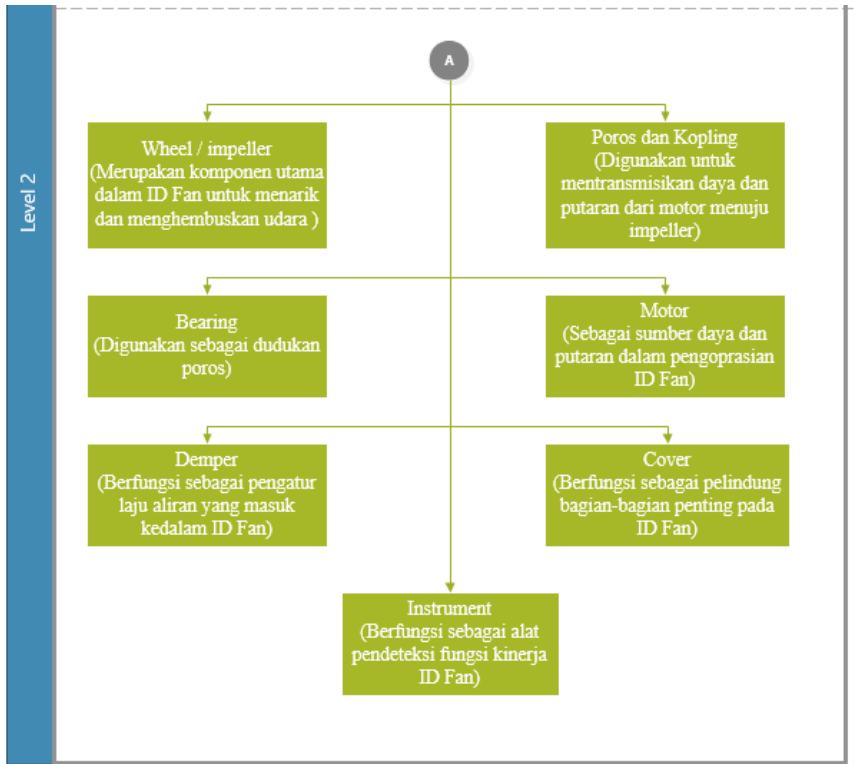
Dalam penelitian ini, ruang lingkup analisis dibatasi pada mesin Fan 542 FN7 saja. Peran penting dan kondisi kritis dalam mesin ini akan dijelaskan dalam sub-sub bab *system breakdown*, fungsi utama, *boundary system*, serta *functional block diagram*

4.3.1 System Breakdown

Mesin Fan 542 FN7 memiliki peran penting dalam produksi semen pada *Finish Mill 2* Pabrik Tuban 1 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Apabila mesin ini terhenti, maka produksi semen pada *Finish Mill 2* akan terhenti. Penggambaran dari pentingnya peran Fan 542 FN7 ini ditunjukkan oleh *system breakdown* seperti yang terlihat pada gambar 4.2 dibawah ini.

System Breakdown



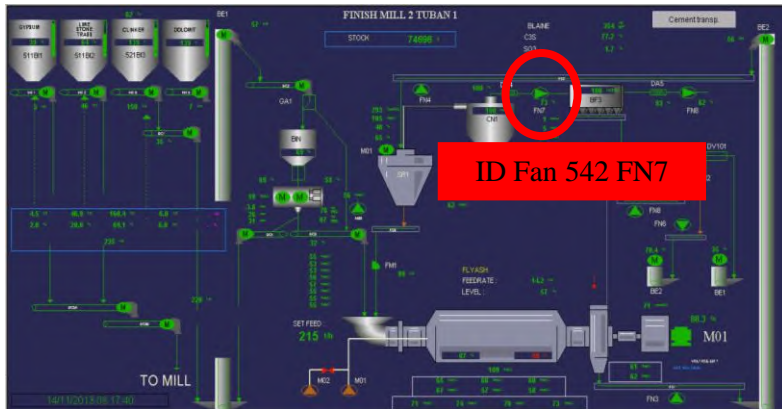


Gambar 4. 2 *System Breakdown* Fan 542 FN7 *Finish Mill 2*
Pabrik Tuban 1 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

Berdasarkan Gambar 4.2, level 0 menunjukkan satu sistem utuh untuk area *Finish Mill* yang terdiri dari 9 golongan mesin penyusun sistem yang disebut dengan sub-sistem *Finish Mill*. Kemudian sub-sistem *Finish Mill* ini ditunjukkan oleh level 1, terdiri dari *Weight Feeder*, *Bin*, *HRC*, *Mill*, *Belt Comveyor*, *Bucket Elevator*, *Air Slide*, *Cyclone*, dan *Fan*. Sedangkan level 2 pada *system breakdown* di atas menunjukkan komponen-komponen yang menjadi penyusun dari sub-sistem *Fan* di *Finish Mill 2* Pabrik Tuban 1. Adapun *Fan* yang digunakan pada setiap *Finish Mill* memiliki kesamaan fungsi dan tipe.

4.3.2 Fungsi Utama

Fungsi utama dari Fan FN7 dapat dilihat dari gambar 4.3 dibawah ini



Gambar 4. 3 Posisi Fan 542 FN7

Fungsi utama dari Fan 542 FN7 ini adalah menghisap aliran udara dari *Separator* (SR1) menuju *Bag Filter* (BF3). Adapun aliran udara yang keluar dari *Separator* (SR1) merupakan udara yang bercampur dengan semen yang sudah siap dikemas, kemudian akan dilakukan pemisahan antara udara dengan semen pada *Cyclone* (CN1). Setelah pemisahan tersebut, udara yang masih mengandung sedikit semen akan mengalir melewati Fan 542 FN7 dan dialirkan menuju *Bag Filter* (BF3) untuk proses lebih lanjut.

Dikarenakan efisiensi dari *Cyclone* (CN1) tidak 100%, terdapat beberapa semen yang masih terangkut dan mengalir menuju Fan 542 FN7 yang kemudian disebut dengan *dust*. Semen beserta udara tersebut dialirkan menuju *Bag Filter* (BF3) untuk disaring kembali. Adapun *dust* yang melewati Fan 542 FN7 tidak sepenuhnya dapat dikirimkan menuju *Bag Filter* (BF3), karena terdapat *dust* yang menempel pada permukaan *impeller* Fan 542 FN7 yang kemudian disebut dengan *coating*.

Penggambaran fungsi utama mesin Fan 542 FN7 ditunjukkan pada gambar 4.4 dibawah ini

Udara yang mengandung beberapa semen jadi (mengandung *clinker*, *dolomit*, *limestone*, *gypsum*) dari SR1 dan CN1



ID Fan 542
FN7



Udara yang mengandung beberapa semen (mengandung *clinker*, *dolomit*, *limestone*, *gypsum*) menuju BF3

Gambar 4. 4 Fungsi Utama Fan 542 FN7

4.3.3 Boundary System

Pembuatan *boundary system* ini ditunjukkan untuk memberikan batasan terhadap sistem yang diamati sehingga dapat ditentukan komponen yang masuk dalam sistem amatan. Input dari pembuatan batasan ini adalah *manual operating book* dari Fan 542 FN7. Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4. 5 *Boundary System Fan 542 FN7*

Pada komponen penyusun Fan 542 FN7 diatas terdapat sub-sub komponen penyusun komponen tersebut. Sub-sub komponen tersebut dijabarkan pada tabel 4.1 dibawah ini

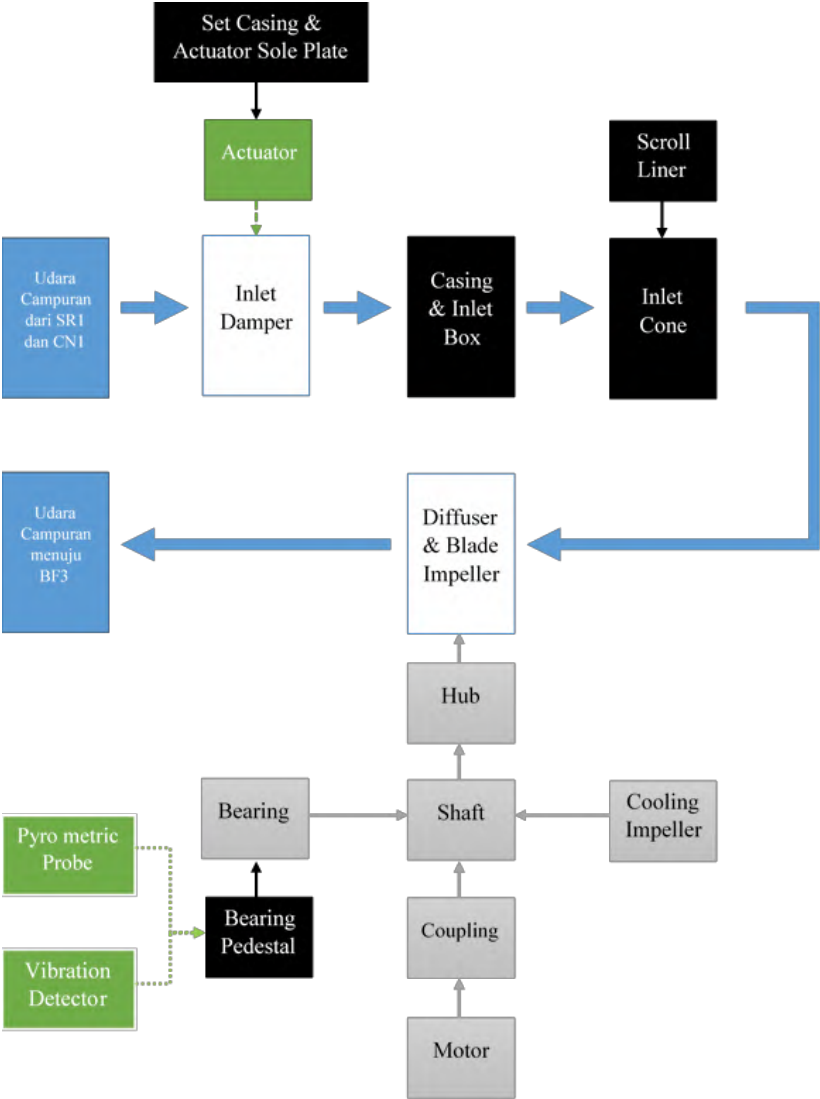
Tabel 4. 1 Sub-sub Komponen Fan 542 FN7

Komponen	Sub Komponen	Jumlah
1. <i>Wheel / impeller</i>	a. <i>Impeller type FX225</i> b. <i>Cooling Impeller</i>	a. 1 buah b. 2 buah
2. Poros dan Kopling	a. <i>Shaft 230Dia 3635 Length</i> b. <i>Citroen Flex 16TI2</i>	a. 1 buah b. 1 set (2 buah)
3. <i>Bearing</i>	a. <i>Journal Bearing SKF SNH524 lg</i> b. <i>Roller SKF 23224 cck</i>	a. 1 set (2 buah) b. 2 buah
4. <i>Damper</i>	a. <i>Inlet Damper</i>	a. 1 buah
5. <i>Motor</i>	a. <i>Motor ABB 990 rpm</i>	a. 1 buah
6. <i>Cover</i>	a. <i>Set Casing and Actuator Sole Plate</i> b. <i>Bearing Pedestal and Rotor Sole Plate</i> c. <i>Casing and Inlet Box</i> d. <i>Inlet Cone</i> e. <i>Hub</i>	a. 1 buah b. 2 buah c. 1 buah d. 1 buah e. 1 buah f. 1 buah

	f. <i>Scroll Liner</i>	
7. <i>Instrument</i>	a. <i>Vibration Detector "Vitec" 438</i> b. <i>Actuator "Beck" 11308</i> c. <i>Pyrometric Probe "Pyrocontrol" pt.100 Ω</i>	a. 2 buah b. 1 buah c. 2 buah

4.3.4 Functional Block Diagram

Setelahn terbentuknya *boundary system*, selanjutnya dibuatkan *Functional Block Diagram* (FBD) yang dikembangkan sesuai Gambar 4.6 *Functional Block Diagram* berfungsi untuk menjelaskan hubungan dan aliran kerja antar fungsi sub sistem yang membentuk suatu sistem serta untuk memperjelas ruang lingkup analisis sehingga proses analisis fungsi dan kegagalan fungsi dapat dilakukan dengan mudah.



Gambar 4. 6 FBD: Sistem Fan 542 FN7

Berdasarkan gambar 4.6 diketahui bahwa sistem Fan 542 FN7 berfungsi untuk mengalirkan fluida berupa campuran udara dengan semen dari *separator* dan *cyclone* menuju *bag filter*. Proses ini diawali dengan masuknya udara melalui *inlet damper* yang mana besarnya aliran yang akan masuk akan diatur oleh *actuator* yang ada pada *inlet damper*. Kemudian udara diteruskan melewati *casing and inlet box*, sebelum akhirnya masuk kedalam *inlet cone*. Didalam *inlet cone* terdapat lapisan *scroll liner* pada dinding-dindingnya untuk mengurangi dampak terkikisnya dinding *inlet cone* akibat terkena udara dan semen yang mengalir. Kemudian udara tersebut akan dikeluarkan dan dipompa oleh *diffuser* dan *blade impeller* menuju *bag filter*. Adapun didalam *diffuser* dan *blade impeller* terdapat beberapa komponen pendukung, seperti *hub* yang digunakan sebagai dudukan *impeller* dengan *shaft*. Kemudian *shaft dan coupling* untuk mentransmisikan daya dari motor. Adapun *bearing* digunakan sebagai penahan beban yang diterima oleh *shaft*, baik beban secara aksial maupun radial. Kemudian terdapat *cooling impeller* untuk mendinginkan *bearing*, serta sensor *pyrometric probe* dan *vibration detector* yang digunakan untuk mengkontrol kinerja dari Fan pada umumnya.

4.4 Spesifikasi Fan 542 FN7

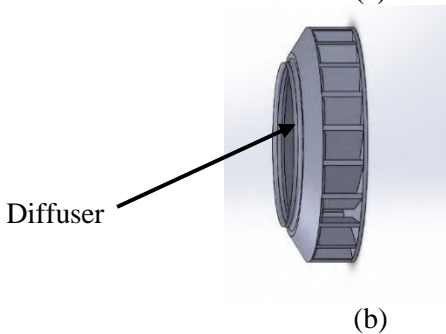
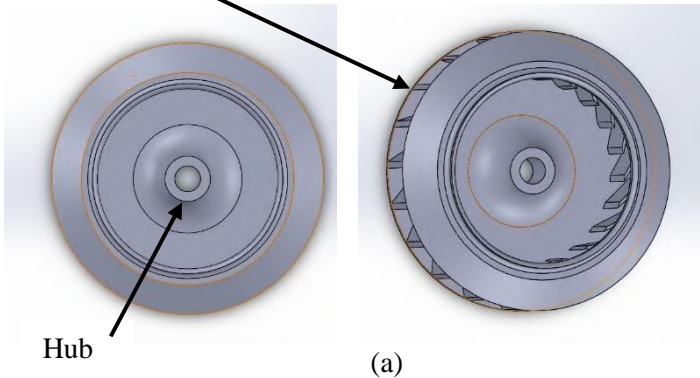
Berdasarkan buku manual Fan 542 FN7 yaitu *ABB Erection, Operating and Maintenance Manual Storing Instruction by Fuller P.O NR 4-94-20065-5-0100 Tuban II contract 25-94-20065-015 PT. Semen Gresik Manual No. M-015037-8* mengenai *separator fan* tipe FX225, terdapat spesifikasi Fan seperti pada lampiran 1. Pada spesifikasi Fan berisi mengenai *performance data*, berat fan, desain fan, *housing design*, *wheel design*, *shaft design*, *bearing design* dan hal lainnya.

Fan 542 FN7 memiliki sub-sub komponen penting seperti yang telah dijabarkan pada tabel 4.1. Sub-sub komponen tersebut memiliki spesifikasi dan fungsi tertentu dalam penggunaannya.

4.4.1 Wheel atau Impeller

Wheel atau *impeller* merupakan komponen terpenting pada Fan 542 FN7. *Impeller* merupakan salah satu komponen berputar (*rotating equipment*) yang menghisap, menghembuskan, dan memberikan tekanan terhadap udara dengan cara memutar *blade impeller* dan *diffuser* sehingga udara mengalir dengan aliran tertentu. Posisi serta bentuk komponen pada *impeller* ini dapat dijelaskan pada gambar 4.7.

Blade Impeller



Gambar 4. 7 Gambar Impeller FX 225; (a) Tampak Atas; (b) Tampak Samping

Besarnya tekanan dan volume udara yang dihisap oleh Fan 542 FN7 diatur oleh *damper* yang ada pada *inlet box*. Adapun udara yang mengalir diarahkan oleh *cover* yang menutupi komponen berputar sehingga aliran udara dapat difokuskan untuk dialirkan ke tempat tertentu. Impeller ini menggunakan material ASTM A541 serta ASTM A572 Gr 50 dengan berat total tanpa modifikasi sebesar 1872 kg.

Impeller merupakan salah satu komponen yang paling sering mengalami kegagalan, baik pada *blade impeller* maupun pada *diffuser*. Hal tersebut dikarenakan udara yang mengalir melewati Fan 542 FN7 mengandung semen halus yang bersifat korosif. Adapun udara campuran tersebut mengalir dengan tekanan dan kecepatan tinggi diakibatkan oleh *impeller*, sehingga semen yang terkandung akan sering mengalami kontak dengan *diffuser* dan *blade impeller*. Kontak tersebut mengakibatkan *diffuser* dan *blade* mengalami keausan seperti pada gambar 4.8 dan gambar 4.9

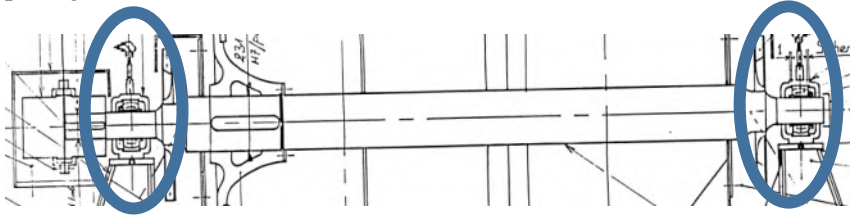


Gambar 4. 8 Keausan yang terjadi pada *Blade Impeller* [19]



Gambar 4. 9 Keausan yang terjadi pada *Diffuser* [19]

Selain *impeller* utama, pada Fan 542 FN7 terdapat *impeller* lain sebagai komponen pendukung yaitu *cooling impeller* seperti pada gambar 4.10.



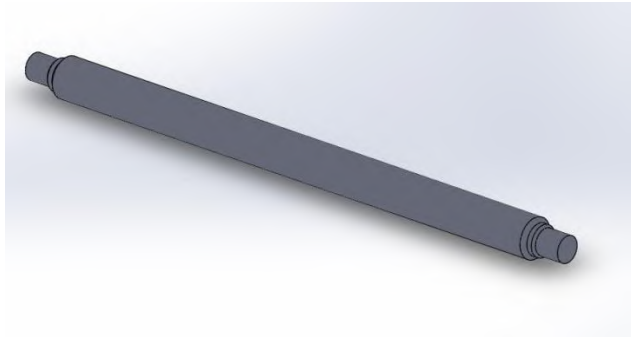
Gambar 4. 10 Posisi *Cooling Impeller* [20]

Cooling impeller ini berfungsi sebagai pengalir udara yang berada diluar penutup untuk mengalirkan udara menuju *bearing*. Udara tersebut digunakan untuk mendinginkan *bearing* sehingga tidak mengalami *overheat*. *Cooling impeller* ini berjumlah 2 buah dan berada didekat masing-masing bearing. *Cooling impeller* ini menggunakan material alumunium dengan berat tanpa modifikasi sebesar 10kg. Selama Fan 542 FN7 beroperasi, belum pernah terjadi kegagalan dan belum pernah dilakukan penggantian total pada *cooling impeller*.

4.4.2 Poros dan Kopling

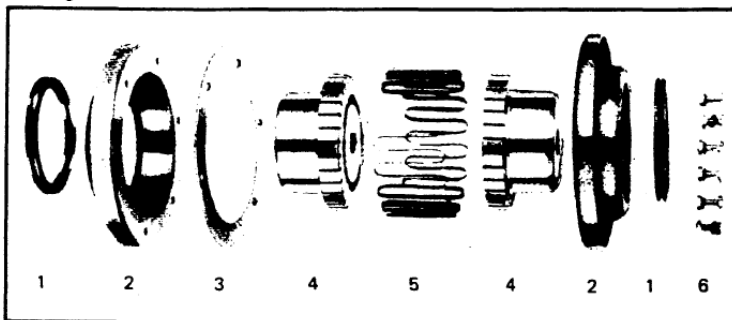
Poros merupakan komponen utama untuk mentransmisikan daya dari motor menuju Fan 542 FN7. Sedangkan kopling digunakan untuk menyambung poros antara poros utama pada Fan 542 FN7 dengan poros yang berasal dari motor.

Poros yang digunakan pada Fan 542 FN7 ini menggunakan material AISI 1038 dengan diameter sebesar 230 mm dan panjang 3635 mm dengan model poros bertingkat dengan berat tanpa modifikasi sebesar 977 kg. Gambar 4.11 menunjukkan bentuk dari poros yang digambar secara 3 dimensi



Gambar 4. 11 Poros Fan 542 FN 7

Kemudian, kopling yang digunakan pada Fan 542 FN 7 ini menggunakan kopling *Winflex Sizes Y Through 95 (type 16 TL 2)*. Komponen-komponen penyusun yang ada pada kopling ini dapat dilihat pada Gambar 4.12 dibawah ini.

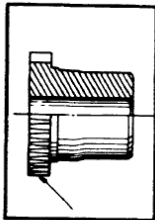


Gambar 4. 12 Komponen Penyusun Kopling *Winflex* [20]

Pada gambar 4.12 diatas terdapat 6 komponen penyusun kopling *winflex*. Adapun komponen penyusun tersebut adalah:

1. *Seal Ring*
2. *Half Cover*
3. *Gasket*
4. *HUB*
5. *Grid*
6. *Cap Screws and Nuts*

Keenam komponen diatas kemudian dirangkai untuk menyambung 2 poros dari motor dan Fan 542 FN7. Adapun tampak akhir dari kopling *winflex* dapat dilihat pada gambar 4.13.



outside diameter
of teeth face

FIG. 1

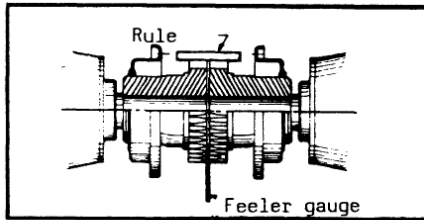


FIG. 2

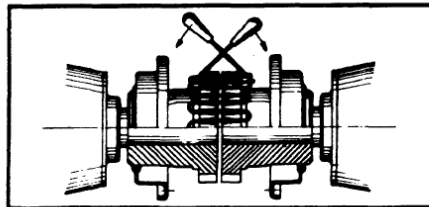


FIG. 3

Gambar 4. 13 Kopling *Winflex* Sizes Y Through 95 (type 16 TL 2) [20]

4.4.3 Bearing

Bearing adalah sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk mengurangi gesekan angular antara dua bendayang bergerak relative satu sama lain, yaitu poros dengan sumbu putar. Selain itu, bearing berfungsi sebagai tumpuan dari benda yang berputar. Pada Fan 542 FN 7 terdapat 2 komponen utama bearing, yaitu *Roller Bearing* dan *Journal Bearing*.

Roller Bearing digunakan untuk menahan posisi aksial poros atau arah beban sejajar dengan sumbu poros. Pada Fan 542 FN 7, *roller bearing* yang digunakan adalah SKF 23224 cck dengan

diameter sebesar 110 mm, berjumlah 2 buah dengan berat 12 kg per unit. *Roller bearing* tersebut dapat dilihat pada gambar 4.14

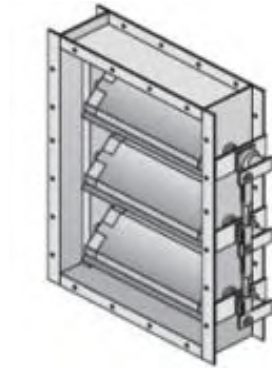


Gambar 4. 14 *Roller Bearing* [21]

Sedangkan *Journal Bearing* digunakan sebagai support atau dengan lincir untuk poros Fan 542 FN7 dari gaya radial atau arah beban tegak lurus dengan sumbu poros. *Journal bearing* yang digunakan pada Fan 542 FN7 adalah SKF SNH524lg dengan material *cast iron*, berjumlah 1 set (2 buah) dengan berat 26kg untuk masing-masing *bearing*.

4.4.4 Damper

Damper yang berada pada *inlet* Fan merupakan alat yang mengatur aliran udara yang akan masuk kedalam Fan. *Inlet damper* dapat mengurangi energy yang digunakan pada Fan dikarenakan kemampuannya yang dapat mengubah bentuk aliran udara yang akan masuk kedalam Fan. *Damper* yang digunakan pada 542 FN7 merupakan jenis *Loover Damper* seperti pada gambar 4.15, yang diproduksi oleh Beck 11308, menggunakan material A293 grD dengan berat total 514 kg.



Gambar 4. 15 *Louver Damper* [21]

Pada *inlet damper* di 542 FN7, terdapat sensor *Actuator Beck 11308* yang berfungsi sebagai pengatur serta pengontrol besaran aliran yang masuk kedalam Fan dengan mengatur *blade* pada *damper*. Dalam pengoprasiaannya, damper tidak pernah mengalami kegagalan fatal hingga menyebabkan 542 FN7 harus berhenti beroperasi.

4.4.5Motor

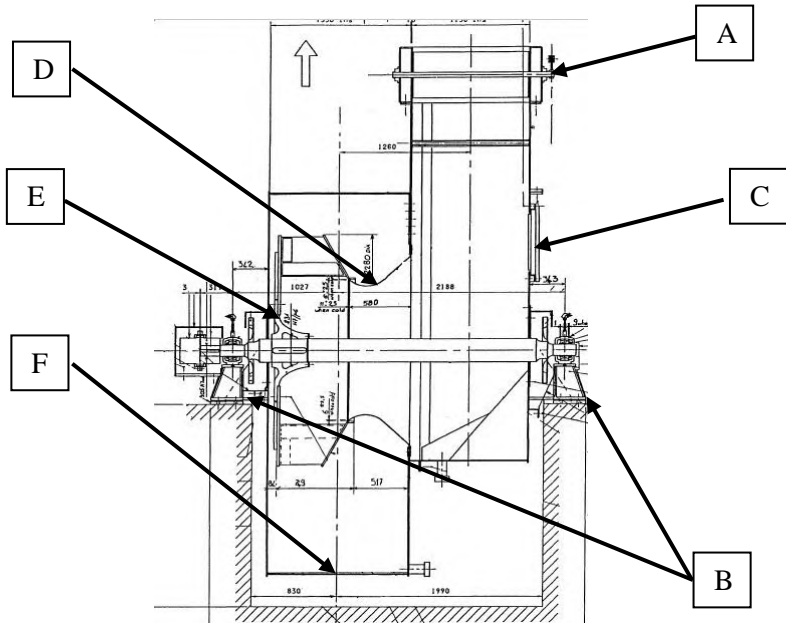
Motor merupakan sumber dari daya dan putaran utama untuk pengoprasian 542 FN7. Motor yang digunakan pada 542 FN7 adalah motor ABB dengan putaran sebesar 990 RPM. Motor tersebut berjumlah 1 buah, dan untuk 542 FN7 menggunakan motor arah *counter clockwise* seperti pada gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Motor ABB [20]

4.4.6Cover

Cover atau pelindung merupakan komponen utama Fan yang melindungi komponen-komponen penting didalam 542 FN7 serta sebagai pengarah aliran udara pada *inlet*, *inside*, dan *outlet* pada Fan. Selain itu, cover juga menjadi pendukung serta penghubung antar komponen inti pada Fan. Dalam 542 FN7 terdapat 6 komponen kritis *cover* yang memiliki fungsi tersendiri. Komponen tersebut dapat dilihat pada gambar 4.17



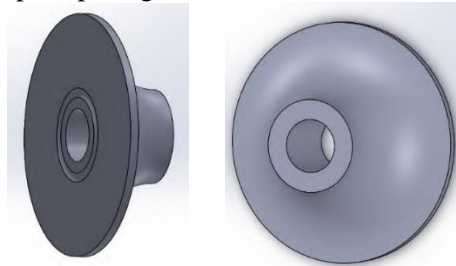
Gambar 4. 17 Komponen Cover; (A) Set Casing and Actuator Sole Plate; (B) Bearing Pedestal; (C) Casing & Inlet Box; (D) Inlet Cone; (E) Hub; (F) Scroll Liner [20]

Fungsi dari masing-masing komponen *cover* diatas adalah sebagai berikut:

- a. *Set Casing and Actuator Sole Plate* merupakan komponen *cover* yang digunakan sebagai rumah tempat instrument *actuator*, dan merupakan cerobong awal saat udara masuk kedalam 542 FN7. Material yang digunakan untuk *set casing and actuator sole plate* adalah A283grD dengan berat total 350 kg.
- b. *Bearing Pedestal* merupakan komponen *cover* yang digunakan sebagai dudukan dan rumah untuk *bearing*. Terdapat 2 tempat *bearing pedestal*, yakni pada *motor side* dan *motor side*. Material yang digunakan untuk *bearing*

pedestal adalah A283grD dengan berat 130 kg untuk setiap unitnya.

- c. *Casing and Inlet Box* merupakan komponen *cover* yang digunakan sebagai pelindung keseluruhan Fan dan pengarah udara dari *inlet* menuju *outlet*. Material yang digunakan untuk *casing and inlet box* adalah A283hrD dengan berat total 7000 kg.
- d. *Inlet Cone* merupakan komponen *cover* yang digunakan sebagai pengarah udara dari *inlet box* menuju *impeller*. Material yang digunakan *inlet cone* adalah A283grD dengan berat total 148 kg.
- e. *Hub* merupakan komponen *cover* yang digunakan sebagai penopang *impeller* terhadap poros yang digunakan. Material yang digunakan pada *hub* adalah *cast iron* dengan berat total 450 kg seperti pada gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Hub

- f. *Scroll Liner* merupakan lapisan dalam yang melindungi *housing* agar tidak terkorosi oleh udara yang dialirkan oleh 542 FN7. Material yang digunakan adalah A283grD dengan berat total 790 kg.

4.4.7 Instrument

Instrument merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi besaran proses yang akan diukur dan diubah dari suatu besaran ke besaran lainnya (*sensor*), sebagai penghitung control berdasarkan perbandingan sinyal umpan balik dan sinyal

referens (*controller*), serta perangkat yang digunakan untuk melakukan aksi pengontrol berdasarkan sinyal control (*control valve*).

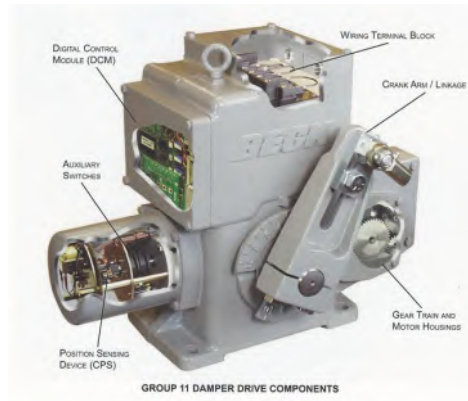
Pada 542 FN7, terdapat 3 alat instrumentasi utama yang digunakan, yaitu *vibration detector*, *actuator*, dan *pyrometric probe*. Adapun fungsi dan kegunaan dari ketiga instrumentasi ini adalah sebagai berikut:

- a. *Vibration Detector* “Vitec” 438 merupakan alat instrumentasi berupa sensor yang digunakan untuk mendeteksi besarnya vibrasi yang ada pada 542 FN7. Sensor ini diletakkan pada kedua *bearing pedestal* dan mengubah sinyal berupa besaran getaran menjadi besaran listrik agar dapat diawasi oleh *Central Control Room*. Adapun bentuk dari *vibration detector* dapat dilihat pada gambar 4.19 dibawah ini.



Gambar 4. 19 *Vibration Detector* “Vitec” [22]

- b. *Actuator* “Beck” 11308 merupakan alat instrumentasi berupa control yang digunakan untuk mengontrol besar atau kecilnya bukaan pada *damper* yang ada pada 542 FN7. Sensor ini diletakkan pada *damper sole plate* serta dikontrol dan diawasi oleh *Central Control Room*. Adapun bentuk dari *vibration detector* dapat dilihat pada gambar 4.20 dibawah ini.



Gambar 4. 20 Actuator “Beck” [23]

- c. *Pyrometric Probe “Pyrocontrol” PT 100 Ω* merupakan alat instrumentasi berupa sensor yang digunakan untuk mendeteksi besarnya temperatur yang ada pada setiap *bearing* 542 FN7. Sensor ini diletakkan pada kedua *bearing pedestal* dan mengubah sinyal berupa besaran temperatur menjadi besaran listrik agar dapat diawasi oleh *Central Control Room*. Adapun bentuk dari *vibration detector* dapat dilihat pada gambar 4.21 dibawah ini.



Gambar 4. 21 Pyrometric Probe [22]

4.5 Frekuensi Kegagalan Komponen

Dalam penggunaanya, komponen-komponen yang ada didalam Fan 542 FN7 pernah mengalami kegagalan pada saat dioperasikan. Adapun tanggal serta mode kegagalan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2.

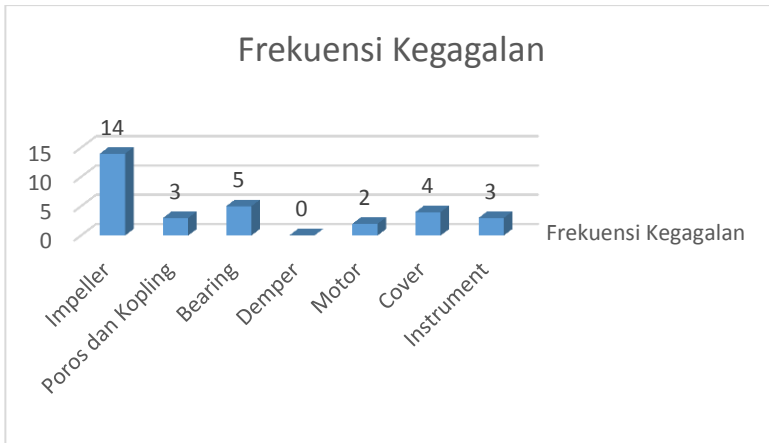
Tabel 4. 2 Kegagalan Komponen Fan 542 FN7

N o	Deskripsi Kegagalan	Tanggal Mulai	Tanggal Selesai	Durasi Perbaikan	Satuan
	Impeller				
1	Impeller Aus	01/02/2011	03/02/2011	5	jam
2	Difuser Aus	07/09/2011	09/09/2011	8	jam
3	Difuser Aus	05/04/2012	05/04/2012	1	jam
4	Difuser Aus	25/09/2012	25/09/2012	5	jam
5	Blade Impeller Coating	19/12/2012	19/12/2012	3	jam
6	Difuser Aus	16/01/2013	16/01/2013	2	jam
7	Difuser Aus	18/02/2013	19/02/2013	10	jam
8	Difuser Aus	05/06/2013	05/06/2013	2	jam
9	Difuser Aus	17/10/2013	17/10/2013	5	jam
10	Blade Impeller Aus	06/11/2013	06/11/2013	4	jam
11	Difuser Aus	19/02/2014	19/02/2014	3	jam

12	Difuser Aus	16/04/2014	16/04/2014	6	jam
13	Blade Aus	20/08/2015	20/08/2015	1	jam
14	Blade Aus	19/11/2015	19/11/2015	2	jam
	Poros dan Kopling				
1	<i>Regrease Coupling</i>	05/09/2011	05/09/2011	1	jam
2	<i>Regrease Coupling</i>	16/01/2013	16/01/2013	2	jam
3	<i>Regrease Coupling</i>	19/02/2014	19/02/2014	3	jam
	Bearing				
1	<i>Bearing Overheat</i>	18/01/2011	18/01/2011	3	jam
2	<i>Bearing Overheat</i>	02/08/2011	02/08/2011	11	jam
3	<i>Vibration Maximum</i>	13/09/2012	13/09/2012	8	jam
4	<i>Bearing Overheat</i>	08/07/2013	08/07/2013	2	jam
5	<i>Bearing Overheat</i>	20/08/2015	20/08/2015	1	jam
	Damper				
	-				
	Motor				
1	<i>Motor Feedback</i>	05/09/2011	05/09/2011	1	jam
2	<i>Motor Feedback</i>	19/04/2013	19/04/2013	3	jam
	Cover				

1	<i>Casing and Inlet Box</i> Aus	11/09/201 1	11/09/201 1	1	jam
2	<i>Casing and Inlet Box</i> Aus	19/12/201 2	19/12/201 2	3	jam
3	<i>Casing and Inlet Box</i> Aus	18/02/201 3	19/02/201 3	5	jam
4	<i>Inlet Cone</i> Aus	17/10/201 3	17/10/201 3	5	jam
	Instrument				
1	Pembacaan vibrameter tidak sesuai	14/01/201 1	14/01/201 1	1,5	jam
2	Pembacaan vibrameter tidak sesuai	07/09/201 2	07/09/201 2	2	jam
3	Vibrameter rusak	09/07/201 3	09/07/201 3	1	jam

Dari tabel 4.2 diatas, didapatkan rekapan frekuensi kegagalan pada setiap komponen dari Fan 542 FN7. Rekapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.22 dibawah ini.



Gambar 4. 22 Rekapitan Frekuensi Kegagalan

Dari rekapitan diatas didapatkan bahwa kegagalan yang paling sering terjadi diakibatkan oleh komponen *impeller* dengan 14 kali kegagalan, kemudian bearing dengan 5 kali kegagalan, *cover* dengan 4 kali kegagalan, poros dan kopling serta *instrument* dengan 3 kali kegagalan, motor dengan 2 kali kegagalan sedangkan *damper* tidak pernah mengalami kegagalan. Rekapitan diatas diambil dari data Laporan Kerja PMFM tahun 2011-2015 (kegagalan per-5 tahun).

4.6 Ground Rules and Assumption

Sebelum menginjak pada langkah selanjutnya pada metode *Reliability Centered Maintenance*, perlu adanya pembahasan mengenai *ground rules and assumption* yang digunakan pada tugas akhir ini. Hal ini dilakukan untuk mempermudah penyusunan dan penyelesaian metode terkait, serta menjaga agar topik yang dibahas tidak meluas. Adapun *ground rules and assumption* yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Seluruh data kualitatif dan kuantitatif yang digunakan pada pembahasan didapatkan dari data lapangan dan *track record*

yang telah dihimpun langsung dari PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

2. Metode yang digunakan adalah metode *Reliability Centered Maintenance* serta penambahan beberapa metode yang dibutuhkan untuk menunjang analisis
3. Analisis hanya dilakukan untuk mesin Fan 542 FN7 pada *Finish Mill 2* pabrik Tuban 1 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.
4. Batas peralatan yang dianalisis sesuai pada sub sub-bab 4.3.3 *Boundary System*

4.7 Failure Mode Effect and Critically Analysis

Pendefinisian fungsi komponen pada sistem Fan 542 FN7 didasarkan pada gambar teknik (pada lampiran x), dan *operating context* Fan 542 FN7 serta wawancara dengan departemen Pengendalian Mesin *Finish Mill* (PMFM) 1-2 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Gambar teknik tersebut dapat dilihat pada Lampiran 2.

Pendefinisian fungsi setiap komponen telah tercantum secara lengkap berupa FMECA pada Lampiran 2. Setiap fungsi tersebut memiliki standar performansi yang harus dipenuhi. Jika terjadi ketidaksesuaian parameter fungsi tersebut mengalami kegagalan fungsi. Kegagalan fungsi ini terjadi apabila lebih dari parameter, kurang dari parameter, bekerja tidak pada waktu yang tepat, tidak dapat dioperasikan lagi, dan sebagainya. Setiap kegagalan fungsi tersebut terdapat penyebabnya yang disebut dengan potensi modus kegagalan (*potential failure modes*). Modus kegagalan ini mengarah pada peralatan yang mengalami kegagalan.

Selanjutnya, setiap model kegagalan dianalisis untuk penentuan *decision maintenance task*. Analisis ini disebut dengan *failure effect* yang berisi bukti (jika ada) bahwa kegagalan fungsi terjadi, dampak kegagalan, dan rekomendasi aksi yang harus dilakukan untuk memperbaiki kegagalan. Selain itu pula terdapat kolom *potential cause of failure* yang digunakan untuk menganalisis potensi terjadinya kegagalan, serta kolom *current*

control untuk mengetahui cara pengontrolan terhadap mode kegagalan yang ada.

Dalam evaluasi FMECA, setelah model kegagalan ditentukan, terdapat parameter yang biasa digunakan dalam FMEA. Frekuensi besarnya nilai “O” menunjukkan bahwa keseringan model kegagalan terjadi (*occurance of failure modes*). Kemudian nilai “S” menunjukkan bahwa seberapa parah model kegagalan terjadi dalam satuan jam untuk diperbaiki (*severity of failure modes*), sedangkan nilai “D” menunjukkan bahwa seberapa sulit model kegagalan dideteksi (*detection of failure modes*). Dari ketiga karakteristik nilai tersebut, dapat dicari nilai “C” untuk besarnya nilai kritis dari model kegagalan (*critically of failure modes*) atau biasa disebut dengan nilai RPN (*Risk Priority Number*). Besarnya nilai tersebut adalah:

$$RPN = S * O * D \quad (4.1)$$

Berikut dibawah ini pada tabel 4.3 adalah contoh dari FMECA pada Fan 542 FN7.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Tabel 4. 3 Contoh FMECA pada Fan 542 FN7

Item process step /	Potential failure mode	Potential effect(s) of failure	Severity	Potential cause(s) of failure	Occurrence	Current controls	Detection	RPN
(1) Impeller Type FX225	(A) Blade Impeller mengalami keausan (wearing)	(1) Fan mengalami vibrasi >9mm/s; Mesin di-overhoul dalam 1-4 minggu	7	Blade mengalami keausan tidak merata; terjadi 5 kali dalam 5 tahun	6	Menggunakan visual apabila vibrasi dideteksi melebihi standar	6	252

	(B) Terdapat coating pada impeller yang sudah tidak dapat ditoleransi	(1) Fan mengalami vibrasi >9mm/s; Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Blade mengalami coating yang sangat parah; terjadi 1 kali dalam 5 tahun	2	Menggunakan visual apabila vibrasi dideteksi melebihi standar	6	72
	(C) Diffuser mengalami keausan	(1) Efisiensi Fan menurun <75%; Mesin di-overhoul dalam 1-4 bulan	7	Diffuser mengalami keausa; terjadi 12 kali dalam 5 tahun	7	Menggunakan visual apabila efisiensi fan dideteksi menurun	6	294

*) FMECA selengkapnya telah tercantum pada Lampiran 2

Setelah didapatkan nilai RPN pada setiap model kegagalan, setiap komponen perlu diklasifikasikan menurut besarnya nilai RPN-nya. Pengklasifikasian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini

Tabel 4. 4 Klasifikasi Model Kegagalan berdasarkan Nilai RPN

Item / process step	Potential failure mode	RPN	Critically
(1) Impeller Type FX227	(C) Diffuser mengalami keausan	294	Critical
(1) Impeller Type FX225	(A) Blade Impeller mengalami keausan (wearing)	252	Very High
(11) Casing and Inlet Box	(A) Terjadi keausan pada Casing and Inlet Box hingga menyebabkan lubang	144	High
(15) Vibration Detector "Vitec" 438	(A) Pembacaan vibrasi tidak sesuai dengan aktualnya	144	High
(4) Kopling Citroen Flex 16TL3	(B) Kopling overheat	96	High
(6) Roller SKF 23224 cck	(B) Bearing Looseness	90	High
(1) Impeller Type FX226	(B) Terdapat coating pada impeller yang sudah tidak dapat ditoleransi	72	High
(6) Roller SKF 23224 cck	(A) Bearing mengalami overheat	72	High
(5) Journal Bearing SKF SNH524lg	(A) Bearing mengalami reporsisi	60	Medium
(3) Shaft 230 Dia 3635 Length	(A) Poros mengalami defleksi	56	Medium

(13) Hub	(A) Hub mengalami keausan (wearing)	56	Medium
(13) Hub	(B) Hub mengalami defleksi	56	Medium
(10) Bearing Pedestal and Rotor Sole Plate	(B) Terjadi retakan pada bearing pedestal	48	Medium
(16) Actuator "Beck" 11308	(A) Ketidaksesuaian terbukanya inlet damper dengan setting awal	48	Medium
(12) Inlet Cone	(A) Terjadi keausan pada Inlet Cone hingga menyebabkan lubang	42	Medium
(9) Set casing & Actuator Sole Plate	(A) Kurangnya torsi pada baut	40	Medium
(10) Bearing Pedestal and Rotor Sole Plate	(A) Kurangnya torsi pada baut	40	Medium
(14) Scroll Liner	(A) Scroll liner mengalami keausan (wearing)	40	Medium
(17) Pyrometric Probe "Pyrocontrol" pt.100 Ω	(A) Pembacaan temperatur yang tidak sesuai dengan aktualnya	36	Medium
(7) Inlet damper	(A) Inlet damper mengalami keausan	32	Medium
(7) Inlet damper	(B) Inlet damper mengalami coating	32	Medium
(2) Cooling Impeller	(A) Cooling impeller tidak efektif bekerja	18	Minor
(4) Kopling Citroen Flex 16TL2	(A) Terjadi miss alignment antar poros	18	Minor

(8) Motor ABB 990 rpm	(A) Motor feedback	18	Minor
(5) Journal Bearing SKF SNH524lg	(B) Bearing mengalami overheat	12	Minor

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa terdapat 1 komponen yang menjadi komponen dengan tingkat *critically* kritis dan nilai RPN 294, yaitu *impeller* dengan *potential failure mode* berupa *diffuser* mengalami keausan. Komponen ini sangat kritis dan sangat diprioritaskan ketika terjadi kegagalan, dikarenakan komponen ini adalah komponen yang paling sering mengalami kegagalan, paling berbahaya, dan paling sulit dideteksi.

Kemudian terdapat 1 komponen lain yang menjadi komponen dengan tingkat *critically very high* dan nilai RPN 252, yaitu *Impeller* dengan *potential failure mode* berupa *blade impeller* mengalami keausan (*wearing*). Komponen ini termasuk komponen yang diprioritaskan tinggi setelah *diffuser*. Adapun terdapat 6 komponen yang memiliki tingkat *critically high* dengan nilai RPN antara 90-144.

Untuk komponen dengan tingkat *critically high* keatas, komponen tersebut merupakan penyumbang kegagalan terbesar dari komponen 542 FN7. Selain itu, komponen tersebut termasuk dalam komponen *intoleranceable*, yang artinya apabila terdapat kegagalan pada salah satu komponen tersebut, 542 FN7 tidak dapat ditoleransi untuk tidak diperbaiki, dan tidak dapat ditoleransi untuk tetap dioperasikan.

4.8 Penentuan *Purposed Maintenance Task*

Setelah tersusun FMECA untuk komponen Fan 542 FN7, selanjutnya untuk model kegagalan dengan nilai RPN diatas 60 (dengan status *critically high* keatas) diidentifikasi menggunakan diagram RCM 2 seperti pada gambar 2.13. Komponen ini dipilih karena dikategorikan sebagai komponen kritis yang dapat mempengaruhi kinerja Fan 542 FN7. Diagram RCM 2 ini

memberikan pilihan *maintenance task* yang paling tepat untuk setiap model kegagalan yang terbentuk. Dalam diagram RCM 2 terdapat 4 konsekuensi yaitu kegagalan yang tersembunyi, *safety and environment*, operasional dan non-operasional. Sedangkan *maintenance task* yang muncul adalah salah satu dari melakukan pekerjaan *on-condition*, perbaikan berkala, penggantian berkala, tidak ada pemeliharaan terjadwal, *finding failure*, atau *redesign* apabila diperlukan.

Maintenance task ditentukan menggunakan RCM *Decision Worksheet*. Analisis sesuai tabel 4.5 digunakan untuk mencari *maintenance task* yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap model kegagalan yang terjadi pada tiap-tiap komponen

Tabel 4. 5 RCM Decision Worksheet

RCM INFORMATION WORKSHEET															
Information Reference			Consequence Evaluation				H1	H2	H3	DEFAULT TASK			Potential to Failure	PURPOSED TASK	KETERANGAN
							S1	S2	S3						
ITEM	P F M	P E F	H	S	E	O	O1	O2	O3	H 4	H5	S 4			
							N1	N2	N3						
(1) Impeller	1 A	1 A 1	Y	N	N	N	Y						Vibrasi yang dibaca sensor >7mm/s, <i>unbalance</i> >50 mikron, dan Efisiensi fan menurun <75%	Mesin diberhentikan untuk dilakukan pengelasan ulang pada <i>blade impeller</i> dan dilakukan <i>balancing</i> .	Apabila dalam pemakaian <5 tahun <i>blade impeller</i> mengalami keausan parah disemua sisi dan <i>unbalance</i> tidak dapat diturunkan <30 mikron, maka perlu adanya <i>redesign</i> pada komponen

(1) Impeller	1 B	1 B 1	Y	N	N	N	Y						Vibrasi yang dibaca sensor >7mm/s, <i>unballance</i> >50 mikron, dan Efisiensi fan menurun <75%	Mesin diberhentikan untuk dilakukan pembersihan pada <i>blade impeller</i> dan dilakukan <i>balancing</i>	
(1) Impeller	1 C	1 C 1	Y	N	N	N	Y						Vibrasi yang dibaca sensor >7mm/s, <i>unballance</i> >50 mikron, dan Efisiensi fan menurun <75%	Mesin diberhentikan untuk dilakukan pengelasan ulang pada <i>diffuser</i> dan dilakukan <i>balancing</i> .	Apabila dalam pemakaian <5 tahun <i>diffuser</i> sering mengalami keausan, maka perlu adanya <i>redesign</i> pada komponen

(4) Kopli ng	4 A	4 A 1	Y	N	N	N	Y							Vibrasi yang dibaca sensor >7mm/s, Unbalance >50 mikron	Mesin harus diberhentikan, dan dilakukan reposisi poros dengan kopling	Apabila kegagalan dapat berulang sebelum <i>overhaul</i> tahunan kembali, maka perlu dilakukan <i>Root Cause Failure Analysis</i> pada komponen tersebut
(4) Kopli ng	4 B	4 B 1	Y	N	N	N	N	Y						-	Mesin tidak perlu diberhentikan, hanya perlu penambahan atau penggantian <i>greace</i>	Penambahan <i>greace</i> secara optimum dapat dilakukan setiap 8000 jam sekali, dan penggantian <i>greace</i> dapat dilakukan setiap 24.000 jam sekali berdasarkan perhitungan keandalan

(5) Journal Bearing	5 A	5 A 1	Y	N	N	N	Y							Vibrasi yang dibaca sensor >7mm/s, unbalance >50 mikron, temperatur >95 °C	Mesin diberhentikan untuk dilakukan pemolesan dan reposisi <i>bearing</i> dengan poros	Apabila kegagalan dapat berulang sebelum <i>overhaul</i> tahunan kembali, maka perlu dilakukan <i>Root Cause Failure Analysis</i> pada komponen tersebut
(5) Journal Bearing	5 B	5 B 2	N	N	N	Y	N	Y						Temperatur > 95 °C	Mesin tidak perlu diberhentikan, hanya perlu penambahan atau penggantian <i>grease</i>	Penambahan <i>grease</i> secara optimum dapat dilakukan setiap 5000 jam sekali, dan penggantian <i>grease</i> dapat dilakukan setiap 15.000 jam sekali berdasarkan perhitungan keandalan

(6) Roller Bearin g	6 A	6 A 1	Y	N	N	N	Y						Vibrasi yang dibaca sensor >7mm/s, unbalance >50 mikron, temperatur >95 °C	Mesin diberhentikan untuk dilakukan pemolesan dan reposisi <i>bearing</i> dengan poros	Apabila kegagalan dapat berulang sebelum <i>overhoul</i> tahunan kembali, maka perlu dilakukan <i>Root Cause Failure Analysis</i> pada komponen tersebut
(6) Roller Bearin g	6 B	6 B 1	N	N	N	Y	N	Y					Temperatur>9 5 °C	Mesin tidak perlu diberhentikan, hanya perlu penambahan atau penggantian <i>greace</i>	Penambahan <i>greace</i> secara optimum dapat dilakukan setiap 5000 jam sekali, dan penggantian <i>greace</i> dapat dilakukan setiap 15.000 jam sekali berdasarkan perhitungan keandalan

(11) Casin g and Inlet Box	11 A	1 1 A 1	Y	N	N	N	Y							Efisiensi fan menurun <75%, secara visual terlihat kebocoran udara	Mesin diberhentikan untuk dilakukan pengelasan ulang pada <i>casing and inlet box</i>	
(15) Vibrat ion Detect or	15 A	1 5 A 1	Y	N	N	N	Y							Vibrasi >7mm/s, Terdapat perbedaan tinggi antara pembacaan vibrasi aktual dengan CCR	Mesin tidak perlu diberhentikan, hanya perlu penggantian sensor vibrasi	

Dari tabel 4.5, terdapat kolom *information reference* menunjukkan identitas RCM *Information Worksheet* yang dianalisis, yaitu *Item*, *Potential Failure Mode* (PFM), dan *Potential Cause(s) of Failure* (PCF). Kolom 4 hingga 7 dapat diisi dengan *Yes* (Y) apabila *failure mode* mempunyai dampak atau konsekuensi pada masing-masing aspek tersebut dan dapat diisi *No* (N) apabila sebaliknya.

Suatu kegagalan digolongkan dalam *hidden failure consequences* apabila *failure mode* yang terjadi dapat diketahui operator dalam kondisi normal. Suatu kegagalan digolongkan dalam *safety consequences* apabila *failure mode* yang terjadi dapat melukai, membahayakan, atau bahkan membunuh manusia serta lingkungan. Suatu kegagalan digolongkan dalam *operational consequences* apabila *failure mode* yang terjadi dapat mempengaruhi kapabilitas operasional seperti hasil produksi, kualitas produksi, kepuasan pelanggan, dan biaya tambahan dalam perbaikan.

Hasil analisis *consequence evaluation* digunakan untuk menentukan strategi perawatan efektif yang terdapat pada kolom 8 hingga 13. Teknik penanganan kegagalan ini dibagi menjadi dua kategori, yaitu pada kolom 8 hingga 10 disebut *proactive task*, dan kolom 11 hingga 13 disebut *default action*. *Proactive task* adalah pekerjaan yang dilakukan untuk mencegah kegagalan pada peralatan sebelum terjadinya kegagalan. Sedangkan *default action* adalah kegiatan yang dilakukan pada saat peralatan sudah mengalami kegagalan dan dipilih ketika tidak ditemukan *proactive task* yang efektif.

Pada kolom 8 (H1/S1/O1/N1) dapat diisi dengan *Yes* (Y) apabila *scheduled on condition task* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai untuk mengantisipasi atau mencegah *failure mode* yang terjadi dan diisi *No* (N) apabila sebaliknya. *Scheduled on condition task* mencakup kegiatan pengecekan sehingga konsekuensi kegagalan yang terjadi dapat hilang atau berkurang. Kegiatan ini mencakup semua bentuk *condition monitoring* dan *predictive maintenance*.

Pada kolom 9 (H2/S2/O2/N2) dapat diisi dengan *Yes* (Y) apabila *scheduled restoration task* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai untuk mengantisipasi atau mencegah *failure mode* yang terjadi dan diisi *No* (N) apabila sebaliknya. *Scheduled restoration task* mencakup kegiatan rekondisi komponen untuk mengembalikan kemampuan asal atau melakukan *overhaul* pada saat atau sebelum batas umur yang telah ditetapkan tanpa memandang kondisi komponen pada saat perbaikan. Kegiatan ini mencakup *interval based maintenance* dan *preventive maintenance*.

Pada kolom 10 (H3/S3/O3/N3) dapat diisi dengan *Yes* (Y) apabila *scheduled discard task* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai untuk mengantisipasi atau mencegah *failure mode* yang terjadi dan diisi *No* (N) apabila sebaliknya. *Scheduled discard task* mencakup kegiatan untuk mengganti komponen dengan komponen baru pada saat atau sebelum batas umur yang telah ditetapkan atau sesuai interval waktu tertentu tanpa memandang kondisi komponen saat penggantian.

Apabila pada kolom 8 sampai dengan kolom 10 terisi *No* (N), maka dipilihlah salah satu dari *default action* yang sesuai pada kolom 11 hingga 13 untuk masing-masing *failure mode*. Kolom 11 (H4) dapat diisi dengan *Yes* (Y) apabila *failure finding task* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai untuk menangani *failure mode* yang terjadi dan diisi *No* (N) apabila sebaliknya. *Failure finding task* merupakan kegiatan memeriksa fungsi tersembunyi untuk mengetahui apakah komponen tersebut sudah mengalami kegagalan. Kolom 12 (H5) dapat diisi *Yes* (Y) apabila *redesign* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai untuk menangani *failure mode* yang terjadi dan diisi *No* (N) apabila sebaliknya. *Redesign* mencakup perubahan atau modifikasi kemampuan suatu sistem termasuk perubahan peralatan dan prosedur kerja. Kolom 13 (S4) merupakan kolom terakhir yang merupakan *no scheduled maintenance*. *No scheduled maintenance* adalah tindakan tidak melakukan perawatan apapun atau membiarkan peralatan sampai rusak baru

diperbaiki. Hal ini dilakukan karena konsekuensi kegagalan tidak berpengaruh terhadap apapun. Dengan kata lain, biaya yang dikeluarkan akan lebih mahal jika dilakukan aktifitas perawatan atau pencegahan daripada menunggu peralatan benar-benar rusak.

Pada kolom *potential to failure* diisi dengan interpretasi dalam pembacaan sensor atau tanda-tanda apabila suatu komponen sedang mengalami kegagalan fungsi. Kemudian kolom *proposed task* diisi dengan teknis perbaikan yang harus dilakukan saat kegagalan fungsi terjadi. Sedangkan kolom keterangan diisi dengan informasi tambahan atau lanjutan apabila kegagalan fungsi terjadi melebihi ambang batas wajar (standar).

Berdasarkan hasil *brainstorming* dan diskusi dengan pihak unit Pemeliharaan Mesin *Finish Mill* (PMFM) PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. maka *maintenance task* yang tepat ditentukan dengan menggunakan *RCM Decision Worksheet* untuk masing-masing komponen kritis pada 542 FN7. Dari 11 mode kegagalan pada tabel 4.5 terdapat 8 *hidden consequence failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled on condition task* (H1), 1 *hidden consequence failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled on condition task* (H2), dan 2 *operational consequence failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled restoration task* (O2)

4.9 Implementasi Teknis *Purposed Maintenance Task*

Dari hasil *RCM worksheet* yang telah disusun pada sub bab 4.8, diketahui bahwa terdapat 2 jenis perawatan yang dapat digunakan pada *Fan 542 FN7*. Perawatan tersebut adalah *scheduled restoration task* (*preventive maintenance*) untuk interval penggantian *greace* pada *roller* dan *journal bearing*, serta *on condition task* (*predictive maintenance*) pada komponen lainnya. Kemudian, perlu adanya implementasi teknis dari setiap model perawatan yang telah ditentukan tersebut.

4.9.1 Implementasi Teknis *Scheduled Restoration Task*

Scheduled restoration task atau biasa disebut *preventive maintenance* adalah kegiatan berkala untuk memperbaiki komponen tanpa memperdulikan kondisi pada komponen tersebut. Hal ini dilakukan karena belum terdapat komponen sensor yang membaca indikasi kegagalan atau dapat menjadi referensi apabila kegagalan yang terjadi lebih sering dari batas standar yang telah ditentukan. Pada komponen fan 542 FN7, komponen yang dapat diperlakukan menggunakan model perawatan ini adalah *journal* dan *roller bearing* serta kopling. Interval perawatan digunakan untuk menentukan jadwal pemberian *greace* secara optimal dilihat dari pengalaman kegagalan pada komponen tersebut.

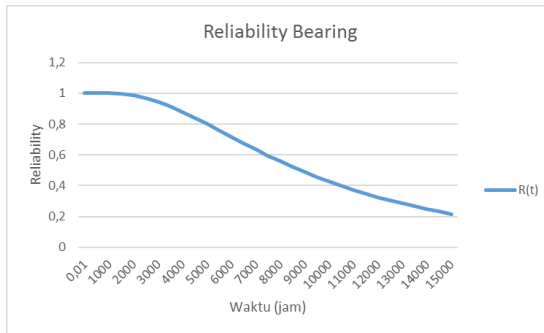
4.9.1.1 Implementasi Teknis *Journal and Roller Bearing*

Sebenarnya, *journal* dan *roller bearing* adalah komponen yang berbeda. Akan tetapi karena posisinya menjadi satu kesatuan, dan memiliki fungsi yang sama dan saling membantu satu sama lain, maka komponen dijadikan satu kesatuan dalam penanganan pemberian *greace*. Pemberian *grease* didasarkan pada interval kegagalan komponen dapat dilihat pada tabel 4.2 bagian *bearing*. Dari interval kegagalan tersebut dilakukan uji distribusi menggunakan *software Reliasoft Weibull 6++* dan didapatkan hasil sebagai berikut:

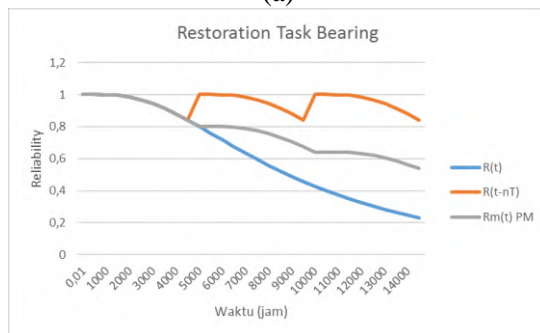
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Interval *Bearing*

Log Normal		TTR	
Distribution	Log normal	Distribution:	Weibull 3
Mean	9,0872		
std	0,676	Beta	0,7275
MTTF	11110,96792	Eta	4,5721
		Gamma	0,6975
		MTTR	0,8063

Dari hasil perhitungan interbal didapatkan bahwa besarnya MTTF didapatkan dari distribusi log normal dengan parameter $\mu=9,0872$ dan $\sigma=0,676$ serta besarnya MTTR didapatkan dari distribusi *Weibull 3* dengan parameter $\beta=0,7275$, $\eta=4,5721$, dan $\gamma=0,6975$. Dari hasil perhitungan tersebut dapat terlihat bahwa rata-rata interval pemberian *greace* pada *bearing* adalah sebesar 11.111 jam. Akan tetapi interval tersebut belum dilakukan optimasi standar. Optimasi standar dilakukan dengan perhitungan analisis keandalan seperti pada lampiran 3, sehingga didapatkan grafik seperti pada gambar 4.23



(a)



(b)

Gambar 4. 23 Hasil Analisis Keandalan *Bearing*; (a) Grafik Keandalan Tanpa Optimasi; (b) Grafik Keandalan Setelah Optimasi

Dari hasil analisis keandalan diatas didapatkan bahwa interval perawatan komponen *bearing* secara optimum dengan mempertimbangkan besar keandalan diatas 0,8 dilakukan pada besaran 5000 jam. Hal ini dapat dilihat bahwa pada gambar 4.23 (a) merupakan grafik keandalan tanpa dilakukan optimasi perawatan, sedangkan pada gambar 4.23 (b), terlihat bahwa grafik yang berwarna biru ($R(t)$) merupakan grafik keandalan awal, kemudian yang berwarna jingga ($R(t-nT)$) adalah grafik keandalan apabila *grease* diganti. Sedangkan yang berwarna abu-abu ($R_m(t)$ PM) adalah grafik keandalan apabila *grease* hanya dilakukan penambahan.

Kemudian, setelah *bearing* dilakukan pemberian *grease* setiap 5000 jam sekali, perlu adanya penggantian *grease* secara total pada setiap 15.000 jam sekali. Dikarenakan keandalan kumulatif sudah dibawah 0,5. Hal ini dilakukan agar komponen tidak mengalami kegagalan lain yang tidak diinginkan.

Pada *bearing*, telah terdapat sensor temperature, dimana saat sensor membaca diatas standar, salah satu indikasinya adalah kurangnya *greace* pada komponen. Akan tetapi, apabila terdapat pembacaan temperature diatas standar, dan indikasi benar dimana *grease* kurang diberi pada *bearing*, tetapi masih jauh dibawah interval pemberian *grease*, maka perlu dilakukan analisis kegagalan untuk kasus tersebut.

Kemudian disarankan untuk mengganti sistem pelumasan lebih terintegrasi dengan menggunakan pendingin *circular* sehingga komponen lebih tahan lama dan lebih optimal dalam penggunaannya.

4.8.1.1 Implementasi Teknis Kopling

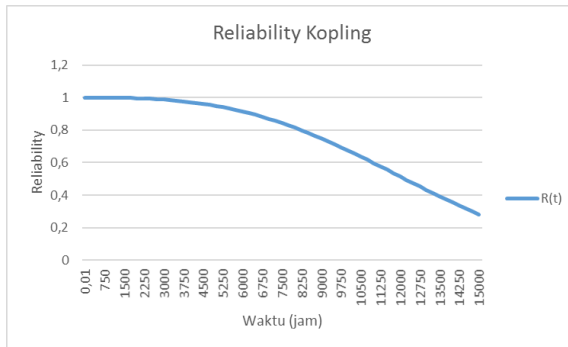
Pada kopling, *grease* merupakan komponen utama untuk pelumasan. Dalam sistem fan 542 FN7 saat ini, perlu adanya

penjadwalan terkait pemberian atau penggantian pelumas pada kopling. Pemberian *greace* didasarkan pada interval kegagalan komponen dapat dilihat pada tabel 4.2 bagian kopling. Dari interval kegagalan tersebut dilakukan uji distribusi menggunakan *software Reliasoft Weibull 6++* dan didapatkan hasil sebagai berikut:

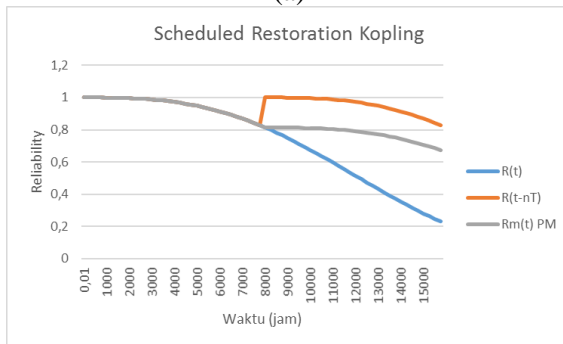
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Interval Kopling

TBF		TTR	
Distribution:	Weibull 2	Distribution:	Weibull 3
Beta:	2,8913	Beta:	3,3037
Eta:	13815	Eta:	1,9749
x	1,345865182	Gamma:	-0,2675
gamma x	0,891579558	MTTR	1,5
MTBF	12317,1716		

Dari hasil perhitungan interbal didapatkan bahwa besarnya MTTF didapatkan dari distribusi *Weibull 2* dengan parameter $\beta=0,2,8913$ dan $\eta= 13815$ serta besarnya MTTR didapatkan dari distribusi *Weibull 3* dengan parameter $\beta=3,3037$, $\eta= 1,9749$, dan $\gamma=-0,2675$. Dari hasil perhitungan tersebut dapat terlihat bahwa rata-rata interval pemberian *greace* pada kopling adalah sebesar 12.317 jam. Akan tetapi interval tersebut belum dilakukan optimasi standar. Optimasi standar dilakukan dengan perhitungan analisis keandalan seperti pada lampiran 3, sehingga didapatkan grafik seperti pada gambar 4.24



(a)



(b)

Gambar 4. 24 Hasil Analisis Keandalan Kopling; (a) Grafik Keandalan Tanpa Optimasi; (b) Grafik Keandalan Setelah Optimasi

Dari hasil analisis keandalan diatas didapatkan bahwa interval perawatan komponen kopling secara optimum dengan mempertimbangkan besar keandalan diatas 0,8 dilakukan pada besaran 8000 jam. Hal ini dapat dilihat bahwa pada gambar 4.24 (a) merupakan grafik keandalan tanpa dilakukan optimasi perawatan, sedangkan pada gambar 4.24 (b), terlihat bahwa grafik yang berwarna biru ($R(t)$) merupakan grafik keandalan awal, kemudian yang berwarna jingga ($R(t-nT)$) adalah grafik

keandalan apabila *grease* diganti. Sedangkan yang berwarna abu-abu (Rm(t) PM) adalah grafik keandalan apabila *grease* hanya dilakukan penambahan.

Kemudian, setelah kopling dilakukan pemberian *grease* setiap 8000 jam sekali, perlu adanya penggantian *grease* secara total pada setiap 24.000 jam sekali. Dikarenakan keandalan kumulatif sudah dibawah 0,5. Hal ini dilakukan agar komponen tidak mengalami kegagalan lain yang tidak diinginkan.

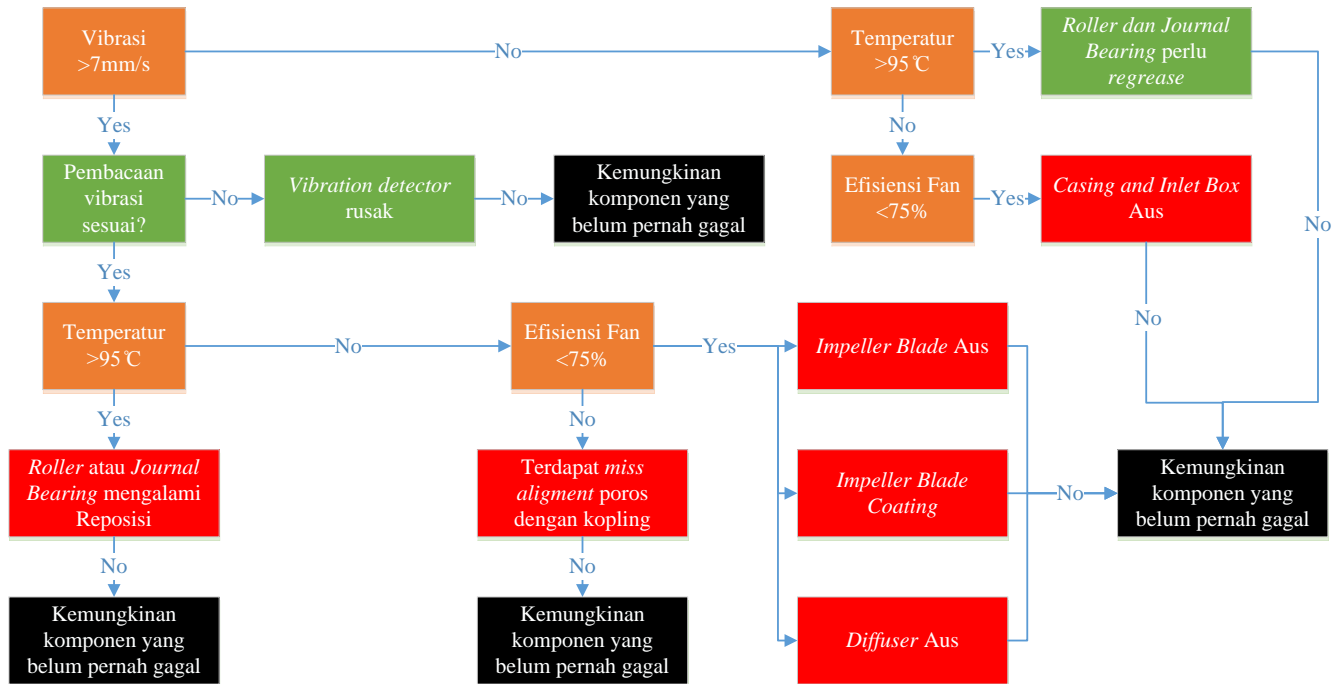
Pada kopling, belum telah terdapat sensor temperature, dimana saat sensor membaca diatas standar, salah satu indikasinya adalah kurangnya *grease* pada komponen. Maka disarankan untuk menambahkan sensor pada komponen tersebut.

Kemudian disarankan pula untuk mengganti sistem pelumasan lebih terintegrasi dengan menggunakan pendingin *circular* sehingga komponen lebih tahan lama dan lebih optimal dalam penggunaannya.

4.9.2 Implementasi Teknis *On-conditional Task*

On-conditional task mencakup kegiatan pengecekan potensi mode kegagalan (*potential failure mode*). Penentuan jenis kegagalan berdasarkan *on-condition task* adalah menggunakan sensor yang dipasang pada Fan 542 FN7. Dalam mesin Fan 542 FN7 ini, sensor yang digunakan adalah sensor vibrasi, temperatur *bearing*, *balancing*, dan sensor aliran fluida untuk mengetahui efisiensi dari fan.

Pada gambar 4.25 merupakan pohon logika (*logic tree*) yang digunakan saat keempat sensor tersebut membaca indikasi kegagalan yang terjadi pada Fan 542 GN7. Indikasi tersebut dapat terbaca apabila vibrasi, temperatur *bearing*, *balancing*, atau efisiensi pada fan terbaca dibawah standar.



Gambar 4. 25 *Logic Tree* untuk Kegagalan Fungsi pada Fan 542 FN7

Tabel 4. 8 Keterangan untuk Logic Tree

Keterangan	
	Indikasi Kegagalan dari Sensor
	Penanganan kegagalan tanpa mematikan mesin
	Penanganan komponen harus mematikan mesin
	Kemungkinan komponen yang belum pernah gagal

Pembacaan pada gambar 4.23 dan tabel 4.8 tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Apabila vibrasi tidak terdeteksi besar, tetapi temperatur *bearing* $>95^{\circ}\text{C}$ maka indikasi tersebut adalah *roller* dan *journal bearing* perlu *regreace*. Akan tetapi apabila *regreace* telah dilakukan sebelumnya pada waktu interval <5000 jam, atau *greace* masih dalam kondisi baik, maka terdapat kemungkinan komponen lain yang gagal. Salah satu komponen yang perlu diperiksa adalah *colling impeller*.
- Apabila vibrasi tidak terdeteksi besar, tetapi efisiensi $<75\%$ maka indikasi tersebut adalah *casting and inlet box* mengalami aus (*wearing*). Sebelum dilakukan pengelasan ulang, perlu adanya pengecekan komponen bagian luar dengan visual dan mencari indikasi-indikasi lain yang dapat menjadi petunjuk kegagalan yang terjadi.
- Apabila vibrasi terdeteksi $>7\text{mm/s}$, tetapi saat pengujian hasil interpretasi dari sensor mengalami perbedaan antara pembacaan pada CCR (*Central Control Room*) dengan actual, kemungkinan sensor mengalami kerusakan. Apabila perbedaan vibrasi terlalu besar maka perlu diadakan penggantian komponen, tetapi apabila vibrasi hampir sama maka perlu analisis lebih lanjut.
- Apabila vibrasi terdeteksi $>7\text{mm/s}$, *unbalance* terdeteksi >50 mikron serta temperatur *bearing* $>95^{\circ}\text{C}$, dan tidak ada perbedaan pembacaan sensor pembacaan pada CCR (*Central Control Room*) dengan actual, maka indikasi tersebut adalah terdapat kegagalan *roller* atau *journal bearing* mengalami reporsisi. Sebelumnya harus dilakukan pengecekan terlebih dahulu pada *bearing* apakah benar terjadi pergeseran pada

bearing. Apabila tidak terjadi maka kemungkinan terdapat kegagalan pada komponen lain, salah satunya pada defleksi poros, ataupun kegagalan komponen bagian dalam (*impeller/hub*).

- Apabila vibrasi terdeteksi $>7\text{mm/s}$, *unbalance* terdeteksi >50 mikron tetapi temperature dan efisiensi normal dan tidak ada perbedaan pembacaan sensor pembacaan pada CCR (*Central Control Room*) dengan actual, maka indikasi tersebut adalah terdapat kegagalan pada kopling dimana *missalignment* terjadi antara poros dengan kopling. Sebelumnya harus dilakukan pengecekan terlebih dahulu pada *bearing* apakah benar terjadi *missalignment* pada poros. Apabila tidak terjadi maka kemungkinan terdapat kegagalan pada komponen lain, salah satunya komponen bagian dalam (*impeller/hub*).
- Apabila vibrasi terdeteksi $>7\text{mm/s}$, *unbalance* terdeteksi >50 mikron, serta *efisiensi* Fan $<75\%$, dan tidak ada perbedaan pembacaan sensor pembacaan pada CCR (*Central Control Room*) dengan actual, maka indikasi tersebut adalah terdapat kegagalan pada *impeller*. Saat terjadi, perlu dilakukan pemberhentian komponen untuk dilakukan pengecekan terhadap *impeller blade*, dan *diffuser*. Dikarenakan dilakukan pemberhentian total dan dilihat bagian dalam komponen, perlu diperiksa pula komponen-komponen lain yang mungkin terjadi kegagalan, seperti *casing*, *actuator*, *poros*, dan sebagainya untuk memastikan tidak ada komponen lain yang mengalami kegagalan.

LAMPIRAN

Lampiran 1

INFORMATION SHEET

Nama Peralatan : Separator Fan
No. Serial : 542 FN7
Tipe Fan : FX 225

1. Data Performa

Fan rpm (operasi)	980	rpm
Fan rpm (maksimum aman)	980	rpm
Kecepatan Kritis	1470	rpm
WR2	1510	kg.m ²
Fan kW tanpa debu / dengan debu	580/640	kW
Efisiensi statis tanpa debu (kondisi desain)	78.1	%
Rekomendasi untuk motor	736/980	kW/rpm

2. Berat

Berat saat dirangkai	12258	kg
Berat komponen yang termasuk Rotor		kg

3. Desain Fan

Jalan Masuk	Single
Lebar	Single

4. Desain Penutup

Ketebalan baja penutup	108.8	mm
Tipe baja penutup	Mild Steel	
Ketebalan pinggiran roda (flange)	90x10	mm
Area jalan masuk (inlet)	3.6	m ²
Area jalan keluar (outlet)	2.37	m ²
Area pada akhir evase	3.57	m ²

5. Desain Roda

Diameter	2250	mm
Lebar	748	mm
Tipe blades	Thin Backward Curved	
Banyaknya blades	41	
Ketebalan baja pada blade/liner 20/5+3 (Hard Facing)	mm	
Tipe baja pada blade/liner A541/Mild Steel (Hard Facing)	mm	
Kecepatan ujung normal	115,5	m/s
Kecepatan ujung maksimum	120	m/s

6. Desain Poros

Diameter di roda/bearing	230/110mm
Tipe baja	Aisi 1038
Bentuk dan ukuran kopling	Citroen Flexacier A6TL2

7. Desain Bearing

Jarak center to center	3215	mm
Diameter	110	mm
Tipe dan manufaktur	SNH 524 SKF	
Temperatur maksimum operasi	90	°C

8. Damper

Tipe	Lovver Demper	
Operator	Beck 11308	
Torsi	600	Lb.Ft

Lampiran 2

Failure Modes & Effects Analysis worksheet								
Process / product:	RCM at FM2 PT1 PT.SMI			FMEA date:		14-Jun-16		
FMEA team:	Muhammad Rizky Eka, Yanuari, Dwi Agus, Sondiq							
Leader:	Muhammad Rizky Eka			Coaching:		Sudiyono Kromodihardjo		
Recommendation								
Item / process step	Potential failure mode	Potential effect(s) of failure	Severity	Potential cause(s) of failure	Occurrence	Current controls	Detection	RPN

(1) Impeller Type FX225	(A) Blade Impeller mengalami keausan (wearing)	(1) Fan mengalami vibrasi >9mm/s; Mesin di-overhoul dalam 1-4 minggu	7	Blade mengalami keausan tidak merata; terjadi 5 kali dalam 5 tahun	6	Menggunakan visual apabila vibrasi dideteksi melebihi standar	6	252
	(B) Terdapat coating pada impeller yang sudah tidak dapat ditoleransi	(1) Fan mengalami vibrasi >9mm/s; Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Blade mengalami coating yang sangat parah; terjadi 1 kali dalam 5 tahun	2	Menggunakan visual apabila vibrasi dideteksi melebihi standar	6	72

	(C) Diffuser mengalami keausan	(1) Efisiensi Fan menurun <75%; Mesin di-overhoul dalam 1-4 bulan	7	Diffuser mengalami keausa; terjadi 12 kali dalam 5 tahun	7	Menggunakan visual apabila efisiensi fan dideteksi menurun	6	294
(2) Cooling Impeller	(A) Cooling impeller tidak efektif bekerja	(1) Bearing menjadi overheating (>95C); Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Terjadi coating pada blade cooling impeller; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Menggunakan visual ketika temperatur bearing dideteksi melebihi standar	3	18

(3) Shaft 230 Dia 3635 Length	(A) Poros mengalami defleksi	(1) Fan mengalami vibrasi >9mm/s; Harus dilakukan overhoul saat kegagalan terjadi	8	Pembebanan berlebihan, fatigue; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Menggunakan visual apabila vibrasi dideteksi melebihi standar	7	56
(4) Kopling Citroen Flex 16TL2	(A) Terjadi miss alignent antar poros	(1) Fan mengalami vibrasi >9mm/s; Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Kesalahan pemasangan, pergeseran poros; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Menggunakan visual apabila vibrasi dideteksi melebihi standar	3	18

	(B) Kopling overheat	(1) Terjadi miss aligment antar poros; Dilakukan servis saat preventive maintenance bulanan	6	Pemberian grease yang kurang tepat; terjadi 3 kali dalam 5 tahun	4	Menggunakan visual dengan pengecekan setiap minggu	4	96
(5) Journal Bearing SKF SNH524lg	(A) Bearing mengalami reporsi	(1) Fan mengalami vibrasi >9mm/s; Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Rumah bearing kurang dipoles sehingga terdapat reposisi bearing akibat fatigue; terjadi 1 kali dalam 5	2	Menggunakan visual ketika vibrasi dideteksi melebihi standar	5	60

				tahun				
	(B) Bearing mengalami overhear	(1) Bearing mengalami defleksi dan keausan; Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Kurang baiknya penjadwalan regrease pada rumah bearing; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Menggunakan visual apabila temperatur bearing dideteksi melebihi standar	2	12

(6) Roller SKF 23224 cck	(A) Bearing mengalami overheat	(1) Bearing mengalami defleksi dan keausan; Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Kurang baiknya penjadwalan regrease pada bearing; terjadi 6 kali dalam 5 tahun	6	Menggunakan visual apabila temperatur bearing dideteksi melebihi standar	2	72
	(B) Bearing Looseness	(1) Fan mengalami vibrasi >9mm/s; Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Clearence antar bearing dan poros terlalu besar (lebih dari 0,12 mm); terjadi 2 kali dalam 5 tahun	3	Menggunakan visual apabila vibrasi dideteksi melebihi standar	5	90

(7) Inlet damper	(A) Inlet damper mengalami keausan	(1) Aliran yang masuk kedalam fan tidak sesuai dengan pengaturan; Dilakukan servis saat preventive maintenance bulanan	4	Permukaan inlet damper terkikis akibat terkena material semen secara terus menerus; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Dari pengecekan setiap bulan	8	32
------------------	------------------------------------	--	---	--	---	------------------------------	---	----

	(B) Inlet damper mengalami coating	(1) Aliran yang masuk kedalam fan tidak sesuai dengan pengaturan; Dilakukan servis saat preventive maintenance bulanan	4	Permukaan inlet damper tertutup material semen secara terus menerus; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Dari pengecekan setiap bulannya	8	32
--	------------------------------------	---	---	---	---	---------------------------------	---	----

(8) Motor ABB 990 rpm	(A) Motor feedback	(1) Fan tidak dapat digunakan; Dilakukan servis saat preventive maintenance bulanan	6	Arus yang masuk tidak terkoneksi dengan baik; terjadi 2 kali dalam 5 tahun	3	Menggunakan sensor pada motor	1	18
--------------------------	-----------------------	--	---	--	---	-------------------------------------	---	----

(9) Set casing & Actuator Sole Plate	(A) Kurangnya torsi pada baut	(1) Set casing mengalami getaran dan dapat berdampak pada actuator; Harus melakukan servis saat pengecekan mingguan	5	Kurang baiknya penjadwalan retorsi; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Dari pengecekan setiap bulannya	8	40
--------------------------------------	-------------------------------	---	---	--	---	---------------------------------	---	----

(10) Bearing Pedestal and Rotor Sole Plate	(A) Kurangnya torsi pada baut	(1) Set casing mengalami getaran dan dapat berdampak pada kinerja actuator dan damper; Harus melakukan servis saat pengecekan mingguan	5	Kurang baiknya penjadwalan retorsi ; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Dari pengecekan setiap bulannya	8	40
--	-------------------------------	--	---	---	---	---------------------------------	---	----

	(B) Terjadi retakan pada bearing pedestal	(1) Fan mengalami vibrasi akibat miss alignment pada poros dan bearing; Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Beban berlebih pada bearing ; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Dari pengecekan setiap bulannya	8	48
(11) Casing and Inlet Box	(A) Terjadi keausan pada Casing and Inlet Box hingga menyebabkan lubang	(1) Efisiensi Fan menurun <75%; Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Casing and Inlet Box terkikis oleh aliran pada fan; terjadi 3 kali dalam 5 tahun	4	Menggunakan visual apabila efisiensi fan dideteksi menurun	6	144

(12) Inlet Cone	(A) Terjadi keausan pada Inlet Cone hingga menyebabkan lubang	(1) Efisiensi Fan menurun <75%; Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Inlet cone terkikis oleh aliran pada fan; terjadi 1 kali dalam 5 tahun	1	Menggunakan visual apabila efisiensi fan dideteksi menurun	7	42
(13) Hub	(A) Hub mengalami keausan (wearing)	(1) Fan mengalami vibrasi >9mm/s; Harus dilakukan overhoul saat kegagalan terjadi	8	Hub terkikis oleh aliran pada fan ; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Menggunakan visual apabila vibrasi dideteksi melebihi standar	7	56

	(B) Hub mengalami defleksi	(1) Fan mengalami vibrasi >9mm/s; Harus dilakukan overhoul saat kegagalan terjadi	8	Hub terdefleksi akibat beban yang diterima berlebihan, atau karena fatigue ; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Menggunakan visual apabila vibrasi dideteksi melebihi standar	7	56
--	----------------------------	---	---	---	---	---	---	----

(14) Scroll Liner	(A) Scroll liner mengalami keausan (wearing)	(1) Casing dapat terkikis dan menyebabkan lubang; Harus melakukan servis saat pengecekan mingguan	5	Scroll liner terkikis oleh aliran pada fan ; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Dari pengecekan setiap bulannya	8	40
(15) Vibration Detector "Vitec" 438	(A) Pembacaan vibrasi tidak sesuai dengan aktualnya	(1) Kesalahan pembacaan vibrasi; Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Instrument sudah tidak presisi ataupun mengalami kerusakan ; terjadi 3 kali dalam 5 tahun	4	Dilakukan pengujian ketika terdeteksi vibrasi yang tidak biasa	6	144

(16) Actuator "Beck" 11308	(A) Ketidaksesuaian terbukanya inlet damper dengan setting awal	(1) Aliran yang masuk kedalam fan tidak sesuai dengan pengaturan; Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Instrument sudah tidak presisi ataupun mengalami kerusakan ; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Dari pengecekan setiap bulannya	8	48
-------------------------------	---	---	---	---	---	--	---	----

(17) Pyrometric Probe "Pyrocontrol" pt.100 Ω	(A) Pembacaan temperatur yang tidak sesuai dengan aktualnya	(1) Bearing mengalami overheating hingga terdefleksi; Harus melakukan servis saat kegagalan terjadi	6	Instrument sudah tidak presisi ataupun mengalami kerusakan ; belum pernah terjadi dalam 5 tahun	1	Dilakukan pengujian ketika terdeteksi perubahan temperatur yang tidak biasa	6	36
---	---	---	---	---	---	---	---	----

Lampiran 3

Perhitungan Keandalan *Bearing*

Parameter distribusi dan data kerusakan

TBF		TTR	
Distribution	Log normal	Distribution:	Weibull 3
mean	9,0872	Beta:	0,7275
std	0,676	Eta:	4,5721
MTTF	11110,96792	Gamma	0,6975
		MTTR	0,8063

planned start	planned competen	TBF	TTR
17/01/2011	18/01/2011	0	3
02/08/2011	02/08/2011	4704	11
13/09/2012	13/09/2012	9792	8
08/07/2013	08/07/2013	7152	2
20/08/2015	20/08/2015	18552	1

Perhitungan Keandalan

$f(t)$	t	$\lambda(t)$	$R(t)$	t	$M(t)$	MTTF	MTTR
4,8214E-88	0,01	0,00000000	1	0	#NUM!	11110,97	0,8063
1,41542E-07	500	0,00000014	0,99999	1	0,00285	11110,97	0,8063
3,26478E-06	1000	0,00000327	0,99937	2	0,99999	11110,97	0,8063
1,25739E-05	1500	0,00001263	0,99566	3	1,00000	11110,97	0,8063
2,63158E-05	2000	0,00002669	0,98605	4	1,00000	11110,97	0,8063
4,11947E-05	2500	0,00004251	0,96916	5	1,00000	11110,97	0,8063
5,47941E-05	3000	0,00005798	0,94507	6	1,00000	11110,97	0,8063
6,58927E-05	3500	0,00007203	0,91479	7	1,00000	11110,97	0,8063
7,41262E-05	4000	0,00008427	0,87966	8	1,00000	11110,97	0,8063
7,96177E-05	4500	0,00009466	0,84112	9	1,00000	11110,97	0,8063
8,27185E-05	5000	0,00010334	0,80044	10	1,00000	11110,97	0,8063
8,38541E-05	5500	0,00011052	0,75873	11	1,00000	11110,97	0,8063
8,34434E-05	6000	0,00011640	0,71685	12	1,00000	11110,97	0,8063
8,1861E-05	6500	0,00012119	0,67548	13	1,00000	11110,97	0,8063
7,94236E-05	7000	0,00012505	0,63513	14	1,00000	11110,97	0,8063
7,63901E-05	7500	0,00012814	0,59615	15	1,00000	11110,97	0,8063
7,29661E-05	8000	0,00013058	0,5588	16	1,00000	11110,97	0,8063
6,93119E-05	8500	0,00013247	0,52323	17	1,00000	11110,97	0,8063
6,55497E-05	9000	0,00013391	0,48951	18	1,00000	11110,97	0,8063
6,17713E-05	9500	0,00013497	0,45768	19	1,00000	11110,97	0,8063
5,80441E-05	10000	0,00013570	0,42773	20	1,00000	11110,97	0,8063
5,44161E-05	10500	0,00013617	0,39962	21	1,00000	11110,97	0,8063
5,09207E-05	11000	0,00013641	0,37329	22	1,00000	11110,97	0,8063
4,75797E-05	11500	0,00013646	0,34867	23	1,00000	11110,97	0,8063
4,44063E-05	12000	0,00013635	0,32568	24	1,00000	11110,97	0,8063
4,14069E-05	12500	0,00013610	0,30424	25	1,00000	11110,97	0,8063

3,85835E-05	13000	0,00013574	0,28425	26	1,00000	11110,97	0,8063
3,59341E-05	13500	0,00013528	0,26562	27	1,00000	11110,97	0,8063
3,34546E-05	14000	0,00013474	0,24828	28	1,00000	11110,97	0,8063
3,11389E-05	14500	0,00013414	0,23214	29	1,00000	11110,97	0,8063
2,89798E-05	15000	0,00013347	0,21712	30	1,00000	11110,97	0,8063

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

t	$\lambda(t)$	R(t)	n	t-nT	$R(T)^n$	R(t-nT)	Rm(t) PM
0,01	0,00000000	1	0	0,01	1	1	1
500	0,00000014	0,99999	0	500	1	0,99999	0,99999
1000	0,00000327	0,99937	0	1000	1	0,99937	0,99937
1500	0,00001263	0,99566	0	1500	1	0,99566	0,99566
2000	0,00002669	0,98605	0	2000	1	0,98605	0,98605
2500	0,00004251	0,96916	0	2500	1	0,96916	0,96916
3000	0,00005798	0,94507	0	3000	1	0,94507	0,94507
3500	0,00007203	0,91479	0	3500	1	0,91479	0,91479
4000	0,00008427	0,87966	0	4000	1	0,87966	0,87966
4500	0,00009466	0,84112	0	4500	1	0,84112	0,84112
5000	0,00010334	0,80044	1	0,01	0,80044	1	0,80044
5500	0,00011052	0,75873	1	500	0,80044	0,99999	0,80043
6000	0,00011640	0,71685	1	1000	0,80044	0,99937	0,79994
6500	0,00012119	0,67548	1	1500	0,80044	0,99566	0,79697
7000	0,00012505	0,63513	1	2000	0,80044	0,98605	0,78928
7500	0,00012814	0,59615	1	2500	0,80044	0,96916	0,77576
8000	0,00013058	0,5588	1	3000	0,80044	0,94507	0,75648
8500	0,00013247	0,52323	1	3500	0,80044	0,91479	0,73223
9000	0,00013391	0,48951	1	4000	0,80044	0,87966	0,70412
9500	0,00013497	0,45768	1	4500	0,80044	0,84112	0,67327
10000	0,00013570	0,42773	2	0,01	0,64071	1	0,64071
10500	0,00013617	0,39962	2	500	0,64071	0,99999	0,6407
11000	0,00013641	0,37329	2	1000	0,64071	0,99937	0,6403
11500	0,00013646	0,34867	2	1500	0,64071	0,99566	0,63793
12000	0,00013635	0,32568	2	2000	0,64071	0,98605	0,63177
12500	0,00013610	0,30424	2	2500	0,64071	0,96916	0,62095
13000	0,00013574	0,28425	2	3000	0,64071	0,94507	0,60552

13500	0,00013528	0,26562	2	3500	0,64071	0,91479	0,58611
14000	0,00013474	0,24828	2	4000	0,64071	0,87966	0,56361
14500	0,00013414	0,23214	2	4500	0,64071	0,84112	0,53891
15000	0,00013347	0,21712	2	5000	0,64071	0,80044	0,51285

Lampiran 3

Perhitungan Keandalan *Kopling*

Parameter distribusi dan Data Kerusakan

planned start	planned competition	TBF	TTR
09/05/2011	09/05/2011	0	1,5
16/01/2013	16/01/2013	14832	1
19/02/2014	19/02/2014	9576	2

TBF		TTR	
Distribution:	Weibull 2	Distribution:	Weibull 3
Beta:	2,8913	Beta:	3,3037
Eta:	13815	Eta:	1,9749
x	1,345865182	Gamma:	-0,2675
gamma x	0,891579558	MTTR	1,5
MTBF	12317,1716		

Perhitungan Keandalan

t	$\lambda(t)$	R(t)	t	M(t)
0,01	5,09914E-16	1	0,01	0,001528
250	1,06004E-07	0,999991	1	0,206305
500	3,93241E-07	0,999932	2	0,793704
750	8,46642E-07	0,99978	3	0,994894
1000	1,4588E-06	0,999496	4	0,999997
1250	2,22476E-06	0,999039	5	1
1500	3,14078E-06	0,998372	6	1
1750	4,20392E-06	0,997459	7	1
2000	5,41171E-06	0,996264	8	1
2250	6,76207E-06	0,994752	9	1
2500	8,25317E-06	0,992889	10	1
2750	9,8834E-06	0,990644	11	1

3000	1,16513E-05	0,987983	12	1
3250	1,35557E-05	0,984878	13	1
3500	1,55953E-05	0,981299	14	1
3750	1,7769E-05	0,977217	15	1
4000	2,00758E-05	0,972608	16	1
4250	2,25148E-05	0,967447	17	1
4500	2,50852E-05	0,96171	18	1
4750	2,77861E-05	0,955378	19	1
5000	3,06167E-05	0,948431	20	1
5250	3,35764E-05	0,940854	21	1
5500	3,66644E-05	0,932631	22	1
5750	3,98801E-05	0,923753	23	1
6000	4,32229E-05	0,914209	24	1
6250	4,66922E-05	0,903994	25	1
6500	5,02875E-05	0,893104	26	1
6750	5,40081E-05	0,881538	27	1
7000	5,78536E-05	0,8693	28	1
7250	6,18235E-05	0,856395	29	1
7500	6,59174E-05	0,842831	30	1
7750	7,01347E-05	0,828621	31	1
8000	7,4475E-05	0,813779	32	1
8250	7,8938E-05	0,798324	33	1
8500	8,35231E-05	0,782277	34	1
8750	8,823E-05	0,765664	35	1
9000	9,30584E-05	0,74851	36	1
9250	9,80078E-05	0,730847	37	1
9500	0,000103078	0,712707	38	1
9750	0,000108268	0,694127	39	1
10000	0,000113579	0,675144	40	1
10250	0,000119009	0,6558	41	1
10500	0,000124558	0,636136	42	1
10750	0,000130227	0,616197	43	1
11000	0,000136014	0,596029	44	1
11250	0,000141919	0,575679	45	1
11500	0,000147943	0,555195	46	1

11750	0,000154085	0,534627	47	1
12000	0,000160344	0,514023	48	1
12250	0,00016672	0,493433	49	1
12500	0,000173214	0,472906	50	1
12750	0,000179824	0,452492	51	1
13000	0,000186551	0,432238	52	1
13250	0,000193394	0,41219	53	1
13500	0,000200353	0,392395	54	1
13750	0,000207429	0,372896	55	1
14000	0,000214619	0,353734	56	1
14250	0,000221925	0,334949	57	1
14500	0,000229346	0,316579	58	1
14750	0,000236883	0,298657	59	1
15000	0,000244533	0,281216	60	1

Perhitungan Preventive Maintenance

t	R(t)	n	t-nT	$R(T)^n$	R(t-nT)	Rm(t) PM
0,01	1	0	0,01	1	1	1
250	0,999991	0	250	1	0,999991	0,999991
500	0,999932	0	500	1	0,999932	0,999932
750	0,99978	0	750	1	0,99978	0,99978
1000	0,999496	0	1000	1	0,999496	0,999496
1250	0,999039	0	1250	1	0,999039	0,999039
1500	0,998372	0	1500	1	0,998372	0,998372
1750	0,997459	0	1750	1	0,997459	0,997459
2000	0,996264	0	2000	1	0,996264	0,996264
2250	0,994752	0	2250	1	0,994752	0,994752
2500	0,992889	0	2500	1	0,992889	0,992889
2750	0,990644	0	2750	1	0,990644	0,990644
3000	0,987983	0	3000	1	0,987983	0,987983

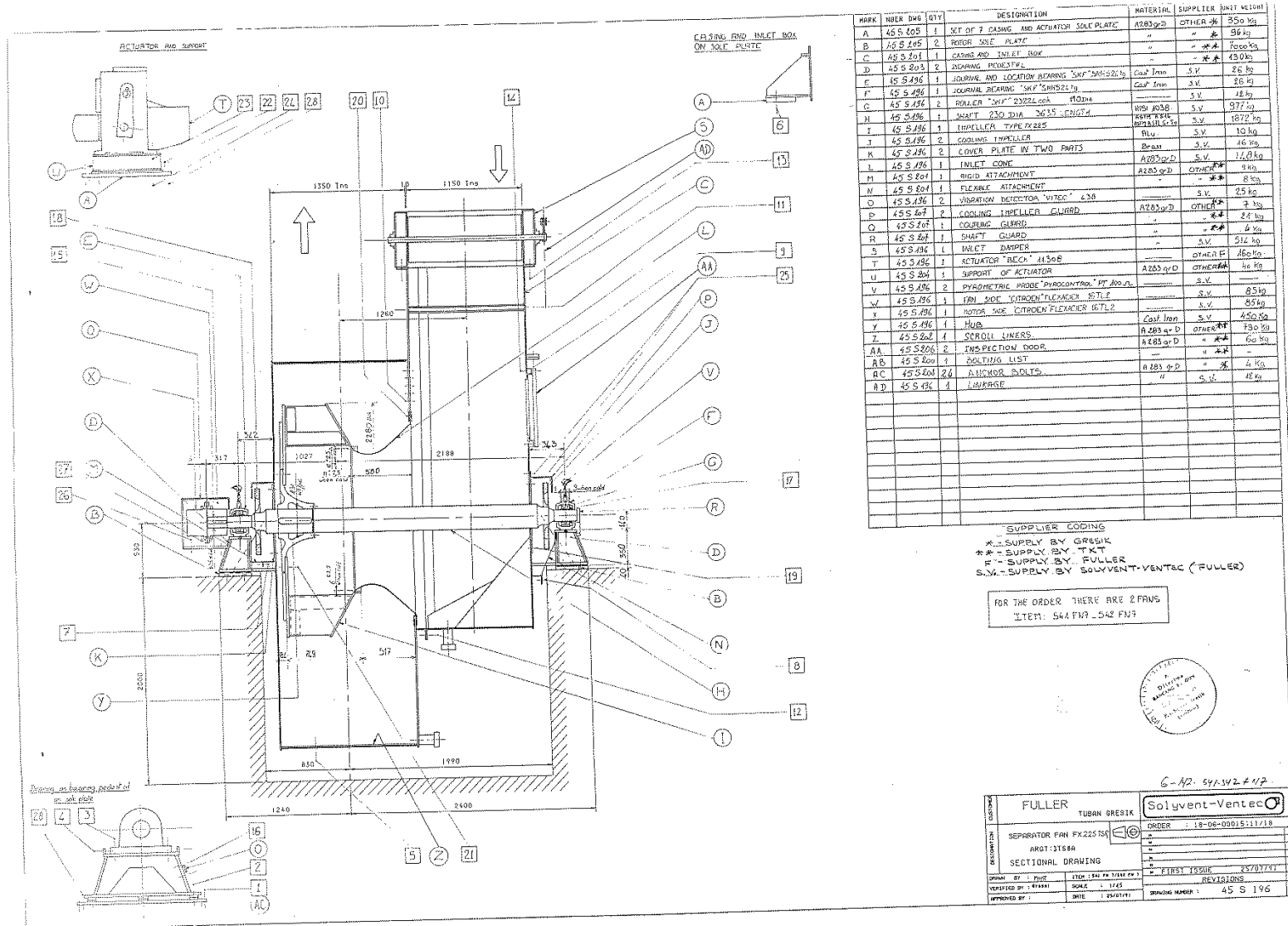
3250	0,984878	0	3250	1	0,984878	0,984878
3500	0,981299	0	3500	1	0,981299	0,981299
3750	0,977217	0	3750	1	0,977217	0,977217
4000	0,972608	0	4000	1	0,972608	0,972608
4250	0,967447	0	4250	1	0,967447	0,967447
4500	0,96171	0	4500	1	0,96171	0,96171
4750	0,955378	0	4750	1	0,955378	0,955378
5000	0,948431	0	5000	1	0,948431	0,948431
5250	0,940854	0	5250	1	0,940854	0,940854
5500	0,932631	0	5500	1	0,932631	0,932631
5750	0,923753	0	5750	1	0,923753	0,923753
6000	0,914209	0	6000	1	0,914209	0,914209
6250	0,903994	0	6250	1	0,903994	0,903994
6500	0,893104	0	6500	1	0,893104	0,893104
6750	0,881538	0	6750	1	0,881538	0,881538
7000	0,8693	0	7000	1	0,8693	0,8693
7250	0,856395	0	7250	1	0,856395	0,856395
7500	0,842831	0	7500	1	0,842831	0,842831
7750	0,828621	0	7750	1	0,828621	0,828621
8000	0,813779	1	0,01	0,813779	1	0,813779
8250	0,798324	1	250	0,813779	0,999991	0,813771
8500	0,782277	1	500	0,813779	0,999932	0,813724
8750	0,765664	1	750	0,813779	0,99978	0,8136
9000	0,74851	1	1000	0,813779	0,999496	0,813368
9250	0,730847	1	1250	0,813779	0,999039	0,812997
9500	0,712707	1	1500	0,813779	0,998372	0,812454
9750	0,694127	1	1750	0,813779	0,997459	0,811711
10000	0,675144	1	2000	0,813779	0,996264	0,810738
10250	0,6558	1	2250	0,813779	0,994752	0,809508
10500	0,636136	1	2500	0,813779	0,992889	0,807992
10750	0,616197	1	2750	0,813779	0,990644	0,806165
11000	0,596029	1	3000	0,813779	0,987983	0,804
11250	0,575679	1	3250	0,813779	0,984878	0,801473
11500	0,555195	1	3500	0,813779	0,981299	0,79856
11750	0,534627	1	3750	0,813779	0,977217	0,795239

12000	0,514023	1	4000	0,813779	0,972608	0,791488
12250	0,493433	1	4250	0,813779	0,967447	0,787288
12500	0,472906	1	4500	0,813779	0,96171	0,782619
12750	0,452492	1	4750	0,813779	0,955378	0,777466
13000	0,432238	1	5000	0,813779	0,948431	0,771813
13250	0,41219	1	5250	0,813779	0,940854	0,765647
13500	0,392395	1	5500	0,813779	0,932631	0,758956
13750	0,372896	1	5750	0,813779	0,923753	0,751731
14000	0,353734	1	6000	0,813779	0,914209	0,743964
14250	0,334949	1	6250	0,813779	0,903994	0,735651
14500	0,316579	1	6500	0,813779	0,893104	0,726789
14750	0,298657	1	6750	0,813779	0,881538	0,717377
15000	0,281216	1	7000	0,813779	0,8693	0,707418
15250	0,264283	1	7250	0,813779	0,856395	0,696916
15500	0,247885	1	7500	0,813779	0,842831	0,685878
15750	0,232043	1	7750	0,813779	0,828621	0,674314
16000	0,216777	2	0,01	0,662236	1	0,662236
16250	0,202102	2	250	0,662236	0,999991	0,66223
16500	0,188031	2	500	0,662236	0,999932	0,662191
16750	0,174573	2	750	0,662236	0,99978	0,662091
17000	0,161735	2	1000	0,662236	0,999496	0,661902
17250	0,149517	2	1250	0,662236	0,999039	0,661599
17500	0,137922	2	1500	0,662236	0,998372	0,661158
17750	0,126945	2	1750	0,662236	0,997459	0,660553
18000	0,11658	2	2000	0,662236	0,996264	0,659762
18250	0,106819	2	2250	0,662236	0,994752	0,65876
18500	0,09765	2	2500	0,662236	0,992889	0,657527
18750	0,089062	2	2750	0,662236	0,990644	0,65604
19000	0,081038	2	3000	0,662236	0,987983	0,654278
19250	0,073562	2	3250	0,662236	0,984878	0,652222
19500	0,066615	2	3500	0,662236	0,981299	0,649851
19750	0,060178	2	3750	0,662236	0,977217	0,647149
20000	0,054228	2	4000	0,662236	0,972608	0,644096
20250	0,048746	2	4250	0,662236	0,967447	0,640678
20500	0,043707	2	4500	0,662236	0,96171	0,636879

20750	0,03909	2	4750	0,662236	0,955378	0,632686
21000	0,034871	2	5000	0,662236	0,948431	0,628085
21250	0,031026	2	5250	0,662236	0,940854	0,623067
21500	0,027533	2	5500	0,662236	0,932631	0,617622
21750	0,024368	2	5750	0,662236	0,923753	0,611743
22000	0,021509	2	6000	0,662236	0,914209	0,605422
22250	0,018934	2	6250	0,662236	0,903994	0,598657
22500	0,016622	2	6500	0,662236	0,893104	0,591446
22750	0,014552	2	6750	0,662236	0,881538	0,583787
23000	0,012704	2	7000	0,662236	0,8693	0,575682
23250	0,01106	2	7250	0,662236	0,856395	0,567135
23500	0,009601	2	7500	0,662236	0,842831	0,558153
23750	0,00831	2	7750	0,662236	0,828621	0,548742
24000	0,007172	3	0,01	0,538914	1	0,538914

Lampiran 4

Gambar Teknik 542 FN7



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis data yang telah dilakukan pada tugas akhir ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Dari analisis FMECA didapatkan komponen yang dikategorikan sebagai komponen kritis, yaitu:
 - *Impeller Type FX227* dengan *potential failure mode diffuser* mengalami keausan dan besar nilai RPN 294 dengan kategori *critical*.
 - *Impeller Type FX227* dengan *potential failure mode blade impeller* mengalami keausan dan besar nilai RPN 252 dengan kategori *very high*.
 - *Casing and Inlet Box* dengan *potential failure mode* terjadi keausan pada *casing and inlet box* hingga menyebabkan lubang dan besar RPN 144 dengan kategori *high*.
 - *Vibration Detector "Vitec" 438* dengan *potential failure mode* pembacaan vibrasi tidak sesuai dengan aktualnya dan besar RPN 144 dengan kategori *high*.
 - *Kopling Citroen Flex 16TL3* dengan *potential failure mode* kopling *overheat* dan besar RPN 96 dengan kategori *high*.
 - *Roller SKF 23224 cck* dengan *potential failure mode bearing looseness* dan besar RPN 90 dengan kategori *high*.
 - *Impeller Type FX227* dengan *potential failure mode* terdapat *coating* pada *impeller* yang sudah tidak dapat ditoleransi dan besar RPN 72 dengan kategori *high*.
 - *Roller SKF 23224 cck* dengan *potential failure mode bearing* mengalami *overheat* dan besar RPN 72 dengan kategori *high*.

- Dari hasil analisis RCM didapatkan strategi perawatan untuk setiap komponen kritis 542 FN7 sebagai berikut:
 - Komponen *Blade Impeller* diterapkan jenis perawatan *on condition task* dengan indikasi kegagalan apabila vibrasi, *balancing*, dan efisiensi fan diluar batas standar.
 - Komponen *Diffuser Impeller* diterapkan jenis perawatan *on condition task* dengan indikasi kegagalan apabila vibrasi, *balancing*, dan efisiensi fan diluar batas standar.
 - Komponen kopling diterapkan jenis perawatan *scheduled restoration task* dengan perawatan berupa penambahan atau penggantian *grease* dengan interval waktu 8000 jam.
 - Komponen *journal bearing* diterapkan jenis perawatan *scheduled restoration task* dengan perawatan berupa penambahan atau penggantian *grease* dengan interval waktu 5000 jam.
 - Komponen *roller bearing* diterapkan jenis perawatan *scheduled restoration task* dengan perawatan berupa penambahan atau penggantian *grease* dengan interval waktu 5000 jam.
 - Komponen *casing and inlet box* diterapkan jenis perawatan *on condition task* dengan indikasi kegagalan apabila efisiensi fan diluar batas standar.
 - Komponen *vibration detector* diterapkan jenis perawatan *on condition task* dengan indikasi kegagalan apabila vibrasi diluar batas standar.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan setelah melakukan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Untuk komponen dengan status kritis *critically* dan *very high* (*diffuser* dan *blade impeller*) perlu dilakukan *root cause failure analysis* untuk kemudian dirujuk menjadi *redesign* komponen.

- Untuk komponen dengan *scheduled restoration task* (*bearing* dan *kopling*) perlu dilakukan *redesign* untuk mengganti sistem pelumasan menjadi *circulating system*.
- Perlu ditambahkan kamera pengawas (CCTV) untuk bagian luar mesin yang sering mengalami kegagalan agar apabila terdapat kebocoran dapat langsung terdeteksi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Mahardika, "Blogspot," 16 April 2015. [Online]. Available: http://industri semen-proses pembuatan semen.blogspot.co.id/2015/04/tahapan-pembuatan-semen_8.html. [Accessed 12 April 2016].
- [2] T. Gao, L. Shen, M. Shen, L. Liu and F. Chen, "Analysis of material flow and consumption in cemen production process," *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp. 553-565, 2015.
- [3] M. W. Utomo, S. Rahayu and P. A. Wicaksono, *Pemeliharaan Mesin Finish Mill 1-2 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban, Jember: Universitas Jember*, 2015.
- [4] S. W. Joergensen, "Vertical roller mills vs ball mills," *Cement Grinding*, pp. 1-17, 2005.
- [5] Prasetiyadi, "Modifikasi Putaran Fan Untuk Meningkatkan Efisiensi Pemakaian Listrik," *Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi*, pp. 9-16, 2006.
- [6] B. Yssaad, M. Khiat and A. Chaker, "Reliability Centered Maintenance Opetimization for Power Distribution System," *Electrical Power and Energy System*, pp. 108-115, 2013.
- [7] J. Moubray, *Reliability Centered Maintenance*, Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999.
- [8] LSS-Indoacademy, *Lean and Lean Six Sigma Training, Consulting, Certification and Turn Key Project*, Surabaya: LSS-Indoacademy, 2016.
- [9] A. O. Wisandiko, *Analisa Keandalan, Keamanan dan Manajemen Resiko Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Blok 2.2 di PLTGU PT. PJB UP Gresik dengan Menggunakan Pendekatan Kuantitatif*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011.
- [10] R. Ramakumar, *Reliability Engineering*, Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.
- [11] D. J. Smith, *Reliability, Maintainability, and Risk*, Oxford:

Butterworth-Heinemann, 2001.

- [12] F. A. Sutanto, Implementasi Teknik Keandalan untuk Mengoptimalkan Interval Perawatan dan Jadwal Penggantian Komponen Kritis Studi Kasus: Mesin Panel Welding di PT. Alstom Power Energy System Indonesia, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2012.
- [13] R. A. Faizah, Analisis Keandalan dan Safety Integrated Level Pada Stripper PV-3900 di Industri Pengolahan Minyak, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [14] L. W. Condra, Reliability Improvement with Design of Experiments Second Edition, Revised, and Expanded, New York: Marcel Dekker, Inc., 2001.
- [15] C. E. Ebeling, An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering, Boston: McGraw-Hill Companies, Inc, 1997.
- [16] NASA, Reliability-Centered Maintenance Guide For Facilities and Collateral Equipment, Washington, D.C.: NASA, 2008.
- [17] N. ShakhsiZare, "LikedIn," 20 April 2015. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/rcm2-decision-diagram-nader-shakhsizare>. [Accessed 12 Maret 2016].
- [18] A. Antonovsky, C. Pollock and L. Straker, "System Reliability as Perceived by Maintenance Personnel on Petroleum Production Facilities," *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 152, pp. 58-65, 2016.
- [19] PT. Semen Indonesia, "Fan Inspection," Tuban, 2011.
- [20] ABB Solyvent Ventec, ABB Erection, Operating, and Maintenance Manual Storing Instruction Filler, Tuban: ABB, 1994.
- [21] Wuxi United Mechanical Bearing Co., Ltd., "Made in China," Bearing Production, 20 Maret 2010. [Online]. Available: <http://wxunited.en.made-in-china.com/product/hbnJlfyHHBW/China-NSK-Cylindrical->

Roller-Bearing.html. [Accessed 12 Juni 2016].

- [22] Vitec, "Product of Vitec," Vibration Transmitters, 2016. [Online]. Available: <http://www.vitec-inc.com/>. [Accessed 12 Juni 2016].
- [23] Actuator Engineering, "Actuator Engineering Limited," Rotary Damper Drives and Actuator, 2016. [Online]. Available: <http://www.actuator-engineering.com/Pages/Group11RotaryActuatorSpecification.aspx>. [Accessed 12 Juni 2016].

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

TENTANG PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap **Muhammad Rizky Eka Permata Chandra**, dilahirkan pada tanggal 12 Juni 1994 di Temanggung, Jawa Tengah merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Thufi Dhirarto dan Ibu Kustien Waldiana. Penulis mengenyam pendidikan di SDN Sawotratap 1, kemudian melanjutkan sekolah ke SMP Negeri 3 Waru. Setelah tamat SMP, penulis melanjutkan ke jenjang pendidikan di SMA Negeri 3 Sidoarjo. Setelah dinyatakan lulus dari SMA pada

tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan di salah satu Perguruan Tinggi terbaik di Indonesia tepatnya pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan memperoleh gelar Sarjana pada bulan September 2016.

Ketika kuliah, penulis mengambil bidang studi Rekayasa Sistem Industri dengan Tugas Akhir spesifik pada bidang Analisis Keandalan. Semasa kuliah, penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Garuda *Maintenance Facilities Aeroasia* sebelum akhirnya melakukan penelitian tugas akhir di PT. Semen Indonesia. Penulis aktif dalam berbagai kegiatan perkuliahan dan organisasi kemahasiswaan. Organisasi kemahasiswaan yang pernah diikutinya yakni Dimensi Mesin ITS dan BEM FTI-ITS. Saat di BEM FTI-ITS, penulis mendapat amanah untuk menjadi Kepala Departemen Dalam Negeri BEM FTI-ITS Kabinet Bersinergi Merangkai Karya. Selain itu, penulis juga aktif berpartisipasi dalam kegiatan pelatihan LKMM, baik menjadi peserta aktif maupun menjadi pemandu. Penulis dapat dihubungi melalui email berikut : em.rizky@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)